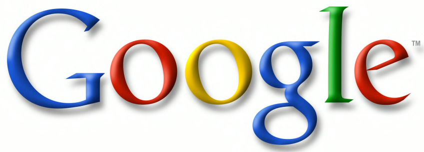
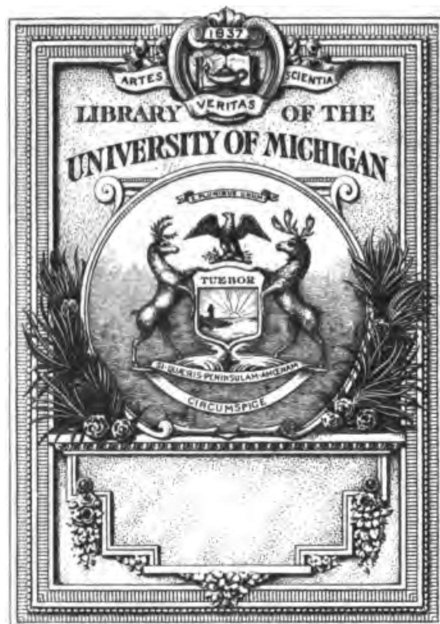
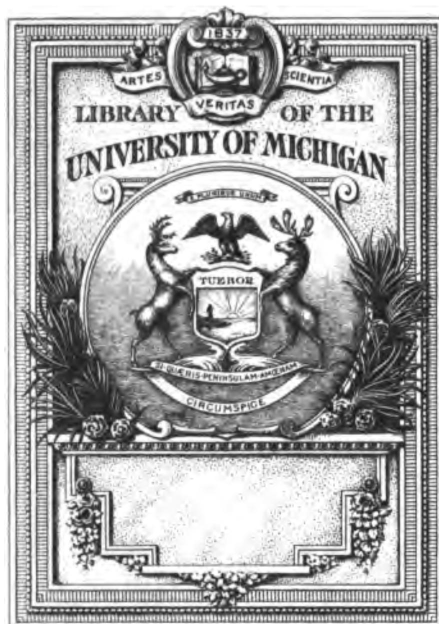



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE

GUIDA

DELL'IDROLOGIA FLUVIALE

' IDRAULICA PRATICA

PER L'INGEGNERE



:LIA LOMBARDINI

:erale delle Pubbliche Costruzioni della Lombardia;
· del R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere,
:na in Filadelfia; uno dei XL della Società Italiana delle Scienze;
pondente di altre Società scientifiche.



MILANO
E LITOG. DEGLI INGEGNERI

1870

PROEMIO

In questi ultimi trent' anni ho pubblicate oltre a venti Memorie sopra varj argomenti d' idraulica fluviale, valendomi dell' esperienza fatta per quattro lustri anteriori sul più variabile tronco del Po, quale si è il cremonese, ove nel corso di pochi anni avvengono tali cangiamenti che non scorgonsi ne' tronchi inferiori in altrettanti secoli. Compendiandosi per tal modo in breve tempo l'opera della natura con fenomeni de' quali è dato distinguere le varie fasi, ho potuto di poi istituire confronti con quelli che avvengono in altri tronchi dello stesso fiume, ed eziandio in altri fiumi, intorno al reggime dei quali sonosi pubblicate pregevoli monografie.

La moltiplicità di quegli scritti dati fuori mano mano allo scopo di svolgere argomenti speciali, fa sì che anche a me stesso arduo talora riesce di rilevare ove abbia esposto qualche particolare concetto, del quale mi occorre conoscere i precisi termini, difficoltà che naturalmente si accrescerà per gli studiosi che intendano consultare le mie Memorie.

Per tale considerazione mi era da principio sorto il pensiero di fare degli estratti di quei concetti, e di disporli con ordine metodico, in guisa di costituire un complesso di regole d' idrologia fluviale. Ma iniziato il mio lavoro, trovai che tornava assai più utile estenderlo ai vari rami, non solo di questa, ma ben anche dell' idraulica pratica. E quantunque generalmente io non dia se non un breve cenno di tali materie, vengo però a porgere così allo studioso la traccia per consultare i pregevoli scritti ove vedonsi sviluppate nel modo più ampio che possa desiderarsi.

Nelle scuole di applicazione degli ingegneri, distinti scienziati ne dirigono gli studj tanto per la parte idrodinamica, quanto per le costruzioni idrauliche, addestrandoli nel calcolo, e nelle rappresentazioni grafiche, mezzi potentissimi per progredire quindi da sè

anche senza il sussidio dell' istruzione orale. Al loro esordire nella carriera pratica, potendo essi disporre di un tempo prezioso per tali perfezionamenti, mi sono appunto proposto di appianarne la via, dimostrando la vastità del campo nel quale avranno ad esercitarsi. E poichè per ogni sua parte accenno le opere e le Memorie che avranno a consultare, molte delle quali sparse in periodici o raccolte accademiche, vengo per tal modo a segnare la traccia per la scelta di quelle che possono loro tornare maggiormente utili, a seconda dello scopo speciale che si sono prefissi.

Taluni lamentano, ben a ragione, che vada progressivamente scemando presso di noi il numero dei cultori della scienza idraulica, di quella scienza che ebbe la sua culla nel nostro paese, alla quale questo deve la sua prosperità, raccomandata alla conservazione, perfezionamento ed estensione delle grandiose opere de' padri nostri per l' utilizzazione delle acque, e per difenderci delle loro irruzioni.

Se colla pubblicazione di questo lavoro mi sarà dato di porgere ai giovani ingegneri uno stimolo abbastanza efficace per la coltura di tale scienza, che oltre ai vantaggi preaccennati offre pur quello di essere di valido sussidio nello studio della fisica del globo e della meteorologia, nel quale sono stati iniziati, avrò nel modo più soddisfacente raggiunto l' intento cui sono rivolte le mie aspirazioni.

Art. I. — **Alimento dei fiumi.**

1. Le piogge che provengono dalla precipitazione dei vapori trasportati dai venti, costituiscono l'alimento de' fiumi, sia che le loro acque vi affluiscano sulla superficie del terreno, sia che vi giungano dopo essere penetrate in questo, e ne scaturiscano di poi in forma di sorgenti.

2. Le piogge saranno tanto più copiose quanto più elevata sarà la temperatura dell'aria, la cui corrente attraversi per lungo tratto i mari, e quanto più bassa sarà quella della regione cui sono diretti i venti impregnati di vapori, e perciò maggiore l'azione refrigerante che li fa precipitare anche in forma di neve. Vedremo più avanti come queste condizioni si riscontrino in una scala grandiosa pel bacino del Po (1).

3. Le acque delle piogge in parte affluiscono, come si disse, direttamente sulla superficie del terreno al *thalweg* del fiume, in parte si disperdono per evaporazione, ed in parte penetrano nel suolo ad alimento delle sorgenti, le quali non sempre raggiungono tutte il fiume. La copia di queste dipende principalmente dal grado di permeabilità del terreno, intorno a cui l'ingegnere Belgrand ha pubblicate osservazioni interessantissime. Rispetto al bacino della Senna, al quale specialmente ha rivolti i suoi studi, egli ha potuto riconoscere che ai terreni impermeabili appartengono i graniti, i lias, le argille sopralisiache, la creta inferiore (grès verde), ed i terreni terziarj; ed ai permeabili i terreni oolitici e la creta propriamente detta (2).

4. In Italia il versante meridionale delle Alpi sarebbe più copioso di sorgenti che non l'Apennino; lo che dipenderà dal comprendere quello in maggior estensione terreni permeabili, ma più ancora dalla maggior copia delle nevi che, liquefacendosi lentamente, porgono un più abbondante alimento alle sorgenti; e parti-

(1) Vedasi più avanti l'art. XIII, ove trattasi della statistica dei fiumi.

(2) Vedansi le Memorie di Belgrand negli *Annales des ponts et chaussées* dal 1846 al 1857, delle quali si tratta nella mia Memoria del 1858 *Sulle inondazioni della Francia* dal § 16 al 20, e nella nota finale L.

colarmente dall'esistenza de' ghiacciai, che sotto i loro strati inferiori prolungano tale alimento anche durante i geli dell'inverno. A queste leggi fa eccezione nell'Apennino il bacino del Tevere, abbondantissimo di sorgenti in qualsiasi stagione, del quale si parlerà più avanti.

5. Nella pianura dell'Alta Italia vi è una zona di ricche sorgenti per la parte subalpina, ove segue il passaggio dei terreni diluviali non stratificati, forniti di notevole pendenza, a quelli di minor declivio stratificati. Nella pianura subapennina la copia delle sorgenti scorgesi all'unghia dei conoidi dei fiumi torrentizj che ne discendono, ove pure avviene un rapido passaggio di pendenza. In Modena e ne' suoi contorni le sorgenti degli strati profondi circa 20^m sono saglienti, e si elevano fino alla superficie del suolo. Siffatta circostanza da epoche remote ha dato luogo alla costruzione dei così detti pozzi Modenesi che precedettero gli Artesiani (3).

Art. II. — **Alvei de' fiumi e torrenti.**

6. Partendo dalle creste de' monti, i fiumi discendono di solito, dapprima profondamente incassati nelle valli, e nella parte inferiore del loro corso, ove sia sufficientemente prolungato, in pianure formate dalle deposizioni delle materie da essi trascinate. Il loro alveo superiore sarebbesi generalmente formato per escavazione, e l'inferiore per replezione, sotto una curva concava verso l'alto, la cui pendenza va progressivamente scemando da monte a valle.

7. Talvolta la loro origine proviene da uno o più laghi esistenti sopra una specie di altipiano, come sarebbe pel Brenta, per l'Adige e per l'Inn, principale affluente alpino dell'Alto Danubio; e quivi la curva del fondo riesce convessa. Ma nella pluralità de'casi, tanto essi, quanto i torrenti loro tributarj, provengono da ripide gole nelle quali, come si disse, trovansi profondamente incassati. Avendo l'ingegnere Surell, ne' primordi della sua carriera, rivolti i suoi studi ai torrenti delle grandi Alpi, de' quali dà ragguaglio in una

(3) *Notizie Naturali e Civili sulla Lombardia*, Cap. IV, pag. 141 e seguenti. Vedasi pure la mia Nota, *Proposta di studj sulle sorgenti e sulle acque potabili del Milanese: Atti dell' Istituto Lombardo* del 1858, e *Giornale dell' Ingegnere-Architetto* per lo stesso anno; e la Memoria del 1865 *Sulla condizione idraulica della pianura subapennina*, pag. 4 e 74 e nota finale G.

Memoria pregevolissima (1), gioverà qui porgere un breve cenno della loro condizione, siccome venne da lui esposta.

8. L'autore ha riconosciuto che un torrente nel tronco superiore, partendo dall'origine, forma il suo letto escavando un bacino a guisa d'imbuto, da lui chiamato *bacino di ricevimento;* che nel tronco infimo, ove scorre sul piano, accumula le materie trasportate disponendole a guisa di ventaglio, o conoide, elevato talvolta 60 o 70 metri, su cui stabilisce il suo corso variabilissimo, che ivi chiama *letto di dejezione;* e che d'ordinario v' ha un tronco intermedio ai due preaccennati, cui egli distingue col nome di *canale di scolo.*

9. Da una serie di livellazioni egli ha desunto che il profilo longitudinale di que' torrenti corrisponde ad una curva concava verso l'alto con pendenze comprese fra i limiti di 8 a 2 per cento, le quali vanno scemando mano mano che si discende, e che le materie divengono di minor mole.

10. Le porzioni di curva corrispondenti rispettivamente al bacino di ricevimento ed al letto di dejezione, quando il torrente è stabilito, sono fra loro continue, unendosi tangenzialmente senza passaggio repentino di pendenza. Ciò avviene quando ad un dipresso è cessata l'escavazione del primo, e l'alzamento dell'ultimo, condizione che è tanto più lontana dal verificarsi quanto più è risentito il passaggio dell'una all'altra porzione di curva. I diversi stadj ne' quali trovasi il torrente sotto un tale rapporto li chiama *età del torrente.* Quando questo ha raggiunto la pendenza normale, l'arte può allora inalvearlo sul letto di dejezione, e stabilirvi ponti ed altre opere, senza di che esse sarebbero esposte ad inevitabile distruzione.

11. Egli ha riconosciuto che molti torrenti si sono estinti col ricoprirsi naturalmente di boscaglia tanto il bacino di ricevimento, quanto il letto di dejezione; ed allora non vedesi più scorrere su questo se non un semplice rigagnolo. L'estinzione dei torrenti ha luogo in generale quando essi sono pervenuti alla pendenza normale, e quindi si sono stabiliti di corso. Ma taluni ne ha pure osservati i quali si sono egualmente estinti quantunque fossero tut-

(1) *Études sur les torrents des hautes Alpes.* Paris 1841. Se ne sta pubblicando una seconda edizione con aggiunte.

tavia lontani da siffatta condizione. Ne ha quindi dedotta la conseguenza importantissima che se la natura, abbandonata alle sole sue forze, ha potuto operare coll' imboschimento tali risultamenti, molto più si può sperare qualora essa venga sussidiata dall'arte; notando pure che ove il terreno è maggiormente sciolto e labile, ed il degradamento del monte è quindi più rapido, tanto più facile riesce l' imboschirlo.

12. Senza seguire l' autore in ciò che consiglia per rivestire di selve i monti ed estinguere i torrenti, aggiungerò solo l'osservazione che fa rispetto alle leggi pressochè identiche, le quali regolano i fenomeni della formazione e stabilimento tanto dei torrenti quanto dei fiumi; e cioè le escavazioni ed i riempimenti del letto, i divagamenti di corso, e la curva del loro profilo longitudinale. Solo che nei torrenti sarebbe a suo avviso in qualche modo ridotta ad una minor misura la scala delle distanze di tale profilo, il quale verrebbe così a riuscire esagerato, trovandosi in essi compendiata la storia de' fiumi sopra uno spazio ed un tempo minore, con che ne sarebbe agevolato lo studio.

13. Egli dà pure ragguaglio di fenomeni straordinarj di piene di que' torrenti, quando sono promosse da una tromba, o nubifragio, che avvengono non di rado, particolarmente nell' estate, in quelle alte regioni. Le acque allora discendono con un tremendo muggito e con estrema violenza siccome una valanga di lava nera ossia di fango, preceduta da venti talmente impetuosi da fare trabalzare sassi di notevole volume.

14. Fiumi torrentizj sono quelli che, quantunque ricevano numerosi tributarj, e vadano soggetti a piene considerevoli, pure in alcuni periodi dell'anno si riducono a magre pronunciatissime, fino a rimanere talvolta in secco. Fiumi perenni invece chiamansi quelli ne' quali in tutto l' anno scorre un considerevole corpo d' acqua. Fiumi estivi diconsi quelli che hanno origine in regioni montuose elevatissime, e vengono nell'estate alimentati dalla liquefazione delle nevi e da ghiacciaj perpetui, siccome avviene nelle nostre Alpi. Fiumi jemali invece sono quelli che discendono da monti di mediocre elevazione, come sarebbe l' Apennino, ove nei nostri climi le piogge e la liquefazione delle nevi che ne promovono le piene passeggiere, avvengono principalmente dall'autunno alla primavera. Per l' emisfero Australe vale l' inversa rispetto alle stagioni.

15. Oltre ai fiumi che hanno le sorgenti in monti più o meno elevati, altri ve ne sono che le traggono in altipiani ed in pianure, di solito da laghi e paludi. Essi hanno una pendenza moderata, trasportano poche materie, e si prestano generalmente per una commoda navigazione. Tali sono la più parte di quelli della Russia Europea, come sarebbe il Wolga, le due Dune, la Neva, il Dnieper.

16. Talvolta queste origini di fiumi sono prossime, quantunque il corso di essi si rivolga a plaghe totalmente differenti e lontane. Que' gruppi chiamansi *Partiacque,* cui gli antichi davano il nome di *divortia aquarum,* e la loro conoscenza interessa particolarmente la geografia fisica. Il più notevole di questi è nella regione dell' Himalaya, la più elevata del globo, donde in spazio non molto esteso discendono l' Indo, il Gange, il Brahamapoutra, l' Irawady, il Mekong, ed il Yang-Tse-Kiang, ossia fiume Azzurro, i quali attraversano le Indie, l' Indo-China e la China, gettandosi parte nell' Oceano Indiano e parte nel Pacifico. È pure notevole presso di noi il partiacque delle Alpi fra il San Gottardo ed il Settimo, ove hanno origine il Po col Ticino; il Rodano, il Reno di Germania ed il Danubio coll' Inn, diretti rispettivamente all' Adriatico, al Mediterraneo, al mare Germanico, ed al mar Nero. Nella Russia Europea v' ha pure una regione poco spaziosa e piana donde traggono origine le due Dune, la Newa, il Wolga ed il Dnieper che si scaricano nel Baltico, nel Mar Bianco, nel Caspio e nel Mar Nero.

Art. III. — **Stabilimento dell' alveo de' fiumi, materie da essi convogliate.**

17. I fiumi trasportano sul fondo, dapprima sassi enormi nelle regioni montuose, de' quali la mole va progressivamente scemando, quindi ciottoli rotondati, cui succedono le ghiaie, le sabbie ed in fine il limo, ove il loro corso sia sufficientemente prolungato. Le materie più leggiere tengonsi in sospensione dalle acque, le quali rendonsi così torbide, talvolta in guisa da rassomigliarsi al fango. Parrebbe che la continua discesa di tutte quelle materie dai monti dovesse dar luogo al progressivo alzamento del fondo de' fiumi; ma, meno in casi eccezionali, l' osservazione dimostra che ciò non avviene, e che prossimamente invariabile si conserva la lunghezza

de' tronchi ne' quali discendono materie di una data mole, come sarebbero i ciottoli e le ghiaie, e che malgrado ciò il livello del fondo non si altera sensibilmente.

18. Circa a questo fenomeno cotanto strano, il Guglielmini osservò che qualora la pendenza del fiume sia tale da permettere l'escavazione del fondo, questa procede in guisa che, scemando progressivamente la pendenza, viene in fine a cessare l'altra. Ove invece la pendenza non sia sufficiente pel trasporto delle materie convogliate, il fiume le depone e per tal modo la accresce fino al limite che si richiede perchè coll'aumentata velocità delle acque cessino tali deposizioni. Adempiutosi a siffatte condizioni il corso del fiume sarebbe stabilito.

19. Onde spiegare poi come malgrado la continua discesa di quelle materie non si elevi il fondo, egli suppose che ciò avvenga pel continuo assottigliamento di esse promosso dalla loro collisione. I sassi più grossi, secondo lui, si convertirebbero in ciottoli, questi in ghiaie, e di poi in sabbie. La figura tondeggiante di quelle materie dimostra realmente l'efficacia di tale collisione; ma mano mano che scema la loro mole, non scorgerebbesi sufficiente siffatta causa a produrre gli effetti che le si attribuirebbero. Egli dimostra poi che, a parità di mole delle materie costituenti il fondo del fiume, la sua pendenza è tanto minore quanto maggiore è la portata integrale delle sue piene ed il grado di sua perennità.

20. Sorsero oppositori a questa dottrina del Guglielmini, e fra gli altri il Frisi, che dimostrò insufficiente la collisione a scemare il volume delle materie convogliate da' fiumi, e pretese che questi vadano progressivamente elevando il loro letto, siccome, rispetto all'Arno, lo supponeva anche il Viviani; ed ammetteva poi che i ciottoli rotondati e le ghiaje fossero materie primigenie create con quella forma.

21. Nella mia prima Memoria del 1840 *Sul sistema idraulico del Po,* nella sua Appendice del 1843, *Altre osservazioni sul Po,* e nella Memoria del 1852 *Sui cangiamenti avvenuti nella idraulica condizione del Po nei contorni di Ferrara,* dimostrai con una serie di fatti, come da molti secoli superiormente alla foce del Panaro, il fondo del Po non sia andato soggetto ad un sensibile alzamento, contro l'opinione di eminenti scienziati della Francia, i quali lo

ammettevano in una misura allarmante. Rispetto all' Arno dimostrarono lo stesso fatto il Guasti ed il Giorgini (1).

22. Veduto poi come in Francia si fosse radicato il principio del progressivo alzamento del letto de' fiumi, particolarmente a cagione degli arginamenti, nella mia Memoria del 1858 sulle inondazioni ivi avvenute, presi a dimostrarne l'insussistenza, adducendo un cumulo di fatti comprovanti l' inalterato livello del fondo di molti fiumi per una serie di secoli, come pure l' aggiustatezza dei principj del Guglielmini rispetto alla pendenza di esso fondo a parità di mole delle materie che lo costituiscono, in relazione alla portata ed al grado di perennità del fiume (2).

23. Mentre per altro riconosceva sussistere queste leggi seguite dalla natura rispetto agli effetti, confessava io pure che nella collisione delle materie costituenti il fondo del fiume non riscontrava una causa proporzionata ad essi, ed accennava nell'ultima Memoria il dubbio che potesse influirvi anche la decomposizione loro, particolarmente per l' alternata azione del gelo e del disgelo. Nella recente Memoria sull' Estuario Adriatico (3) ho dato maggiore sviluppo a questo mio concetto, esponendo nuovi fatti che dimostrerebbero l'efficacia di tale decomposizione, non solo per l'influenza atmosferica, ma eziandio per altre cause che sono tuttavia un mistero.

24. Nello studio del corso del Po e de' suoi affluenti ho osservato che quelli i quali provengono dai laghi, quindi con acque chiarificate, sono profondamente incassati nelle adiacenti pianure, mentre ciò non avviene ivi pei fiumi torbidi. Notai pure che gli affluenti forniti di maggiore pendenza si portano a sboccare nel recipiente in direzione pressochè normale; e che ove maggiormente si allarga la pianura sommergibile, i tributarj del Po vi confluiscono sotto un angolo che diviene sempre più acuto da monte a valle.

(1) Vedansi le Memorie: del Guasti, susseguita da una mia Nota, nel vol. 7 del *Politecnico* del 1844, e di Carlo Giorgini, *Discorso idraulico-storico sull'Arno*, Firenze 1854.

(2) § 45 e nota finale I.

(3) Milano 1868, Art. XXI. Vedi anche per quell'anno il *Giornale dell'Ingegnere-Architetto* ed il Vol. XI delle Mem. *del R. Istituto Lombardo delle Scienze.*

25. Su questo particolare dimostrai che, formandosi il Po il proprio alveo in una immensa palude o stagno, lo conterminava colle sue deposizioni da argini naturali, o contrafforti, disposti all'esterno a spalto dolcemente inclinato, che si abbassava coll'allontanarsi dal suo corso, perchè mano mano scemava la copia delle torbide che vi deponeva. Fra questi spalti e l'unghia dei conoidi de' suoi affluenti torbidi si conservarono in epoche storiche immensi stagni, ne' quali essi prolungavano il loro corso, che per le espansioni superiori si infletteva a valle, atteso principalmente l'ostacolo che i contrafforti del Po opponevano a riceverli fino a che non si fosse incontrato qualche punto ove potessero mettervi foce. Le molte diversioni del corso del Po, e più ancora de' suoi affluenti torbidi, avvenute naturalmente, e talvolta per opera dell'uomo, come vedremo più avanti, finirono per colmare quelle immense paludi in tempi pei quali si posseggono documenti storici relativi agli avvenuti cangiamenti (1).

26. Questi, rispetto al Po, si limitano ora principalmente alle corrosioni delle sue sponde, ed alle deposizioni alluviali che in parte ne conseguono. L'azione delle acque, portandosi ad investire una delle sponde, tende a disporla in una figura concava, la cui curvatura diviene tanto più risentita quanto maggiore è la violenza della corrente, che dipende sopratutto dalla direzione del filone principale, e quanto minore è la resistenza del terreno che forma la sponda. I corpi costretti a muoversi in una direzione curvilinea sono sempre animati da una forza centrifuga, e tendono a deviare dalla curva, e seguirne la tangente. Per lo che il filone, uscendo dalla concavità della sponda corrosa, mentre inferiormente si depongono pel rallentamento della corrente da quella parte tanto le materie provenienti dai tronchi superiori, quanto quelle svelte dalla corrosione stessa, passa a percuotere la sponda opposta, e così via via ne' tronchi successivi. Per tal modo la corrosione allarga la

(1) Veggansi i seguenti miei scritti: Memoria precit. *Sul sistema idraulico del Po*, Memoria del 1843 *Altre osservazioni sul Po*; *Notizie naturali e civili*, pag. 136; *Studj sull'origine dei terreni quadernarj di trasporto*, Milano 1861, pag. 6 e seg. inseriti anche nel *Giornale dell'Ingegnere-Architetto* per quell'anno e nel Vol. VIII delle Mem. *del R. Istituto Lombardo delle Scienze*. Memoria precit. *Sulla pianura subapennina* e particolarmente la nota finale A. Memoria precit. *Sul grande Estuario Adriatico*, parte II e III, come si vedrà più avanti.

sezione del fiume, e rallentata la velocità delle acque presso la sponda opposta, vi depone un' alluvione che si avanza colla sua punta a spiaggia dolcemente inclinata in corrispondenza al vertice di essa corrosione, a quel punto cioè ove è più energica la sua azione. Allorchè que' depositi emergono sopra il livello delle acque ordinarie, si vestono di virgulti, e procedendo l' elevazione della loro superficie per nuove deposizioni, nel volgere di pochi anni divengono boschi di rigogliosa vegetazione, particolarmente ove pel rallentamento della corrente vi si deponga limo. Mano mano che l' alluvione si eleva, l' arte riduce il bosco naturale di ceppaje a capitozza, e quindi ad alto fusto, principalmente di pioppi.

27. I serpeggiamenti che in tal guisa ne derivano si farebbero sempre maggiori, se la stessa natura non vi ponesse un limite. A misura che va maggiormente internandosi la corrosione in una sponda, cresce di solito l'azione della corrente contro la parte inferiore della concavità, ed allora la corrosione stessa tende a discendere e portare in altri punti inferiori anche il suo movimento trasversale. Di più, quando l' andamento del fiume siasi reso troppo vizioso coll' insenamento della corrosione, e col contemporaneo avanzamento dell' opposta alluvione, questa viene talora soverchiata coll' irruzione di una piena da una corrente abbastanza forte per solcarla e troncarla. Per tal modo l' alluvione cangiasi in isola *di avulsione*, e qualora prevalga il nuovo canale che si è aperto, si ostruisce l' altro, e l' isola termina coll' unirsi alla sponda opposta. Questi raddrizzamenti spontanei, che diconsi *salti*, pei quali il corso del Po si accorcia di cinque a sei chilometri, sono talvolta promossi da una depressione chiamata *lanca*, od *ancona*, o *mortizza*, che di solito si conserva alla radice dell' alluvione, attesa la maggiore profondità che ivi in precedenza aveva il fiume, sotto una sponda da esso stata corrosa, che dicesi *piarda*, e la minor copia delle deposizioni in causa del maggior rallentamento della corrente.

28. Non di rado avviene che per un notevole insenamento della corrosione superiore, il vertice dell' inferiore risale, cosicchè si alternano talvolta i movimenti di ascesa e di discesa di essa, l' ultimo de' quali però termina col prevalere. Combinato ciò coll' effetto di qualche salto, l' osservazione fatta nel corso di pressochè due secoli dimostra che, partendo da Cremona, nel periodo di circa 30 anni una data corrosione del Po passa al posto dell' inferiore

presso la medesima sponda con un movimento di discesa di circa sei chilometri.

29. Quando si allarga soverchiamente la sezione di un fiume, di solito sorgono nel suo mezzo isole, che mano mano si stabiliscono come le alluvioni. A valle della foce dell'Adda, ove, come vedremo, fino a quella dell'Oglio, il Po diviene vagante, le isole di nuova formazione, *nate nel fiume,* sono frequenti e prendono la figura di uno scafo, rimanendo tondeggianti nel loro estremo a monte, ove prevale nella deposizione la sabbia, e terminando in punta a valle, ove in maggior copia si depone l'argilla. Anche negli alvei derelitti del Po, il tratto superiore è costituito di depositi di sabbie di maggiore elevazione, e nell'inferiore prevale l'argilla ed il limo portativi dalle acque di rigurgito nei primordj delle piene, o da quelle delle piene stesse maggiormente chiarificate. La parte media si colma più difficilmente, e rimane in condizione di stagno ove venga chiusa fra argini, prendendo allora il nome di *mortizza* (5).

30. Il profilo del fondo, o thalweg del fiume costituisce una curva con notevoli ondeggiamenti, particolarmente quando è serpeggiante il suo corso; corrispondendo le maggiori depressioni di esso ai gorghi escavati dalle corrosioni, ed i dorsi interposti ai passaggi del filone dall'una all'altra sponda. In istato di magra, attesa la profondità dei gorghi, le acque vi si rallentano con piccola pendenza, e si chiamano *molenti;* accelerandosi di poi con poca profondità sullo spalto a valle del dorso successivo in forma di *rapida,* costituente un alto fondo. In tempo di piena poi la corrente diviene sempre più violenta nella corrosione, e la maggior pendenza del pelo d'acqua si ha dal vertice di essa al dorso seguente, atteso il rigonfiamento delle acque cagionato dalla combinata azione della forza centrifuga cui obbedisce, e della resistenza che vi oppone la concavità della svolta, ove si è concentrata la maggior corrente. Dal dorso poi alla corrosione successiva, la pendenza diminuisce in causa del ringorgo

(5) Ne' quattro lustri pei quali ebbi la dirigenza di una linea del Po cremonese variabilissima ed arcifinia collo Stato di Parma, continue furono le questioni, particolarmente cogli agenti di quel Governo, per proprietà od alto dominio d'isole od alluvioni. A tal uopo era mestieri tener dietro alle circostanze di fatto che accompagnavano quelle variazioni, onde tesserne la genesi, locchè mi riuscì di una istruzione efficacissima, ed influì a rendermi famigliari i fenomeni che vi si riferiscono.

conseguente alle due cause preaccennate, fino a cangiarsi talvolta in contropendenza. Queste anomalie di pendenze si rendono sensibili negli stati estremi di magra e di piena, e scompajono in gran parte negli stati intermedj, cosicchè per la posizione dello zero degli idrometri si preferisce il livello della magra ordinaria, malgrado l'inconveniente di avere allora altezze positive e negative nella scala di essi, come vedremo più avanti. Taluni suppongono che la sporgenza delle alluvioni in forma di punta di fronte al vertice della corrosione sia la causa di questa, e non di rado si sono eseguiti manufatti dispendiosissimi per distruggerla. Ma in tal caso si è scambiata la causa coll'effetto. Perchè la punta dell'alluvione potesse esercitare un'azione respingente, essa dovrebbe reagire contro la corrente, e rimanere corrosa, mentre questa su quelle spiagge dolcemente inclinate depone sabbie sottilissime.

31. Col variare lo stato delle acque, e quindi la portata del fiume, varia eziandio la direzione del filone, e la posizione del thalweg, o solco da questo escavato; imperciocchè il raggio di curvatura del suo andamento s'accresce colla portata stessa. Durante le piene perciò la sua direzione si approssima maggiormente a quella della *linea direttrice fluviale*, e per tal modo investe le sponde sotto un angolo meno risentito. Con tutto ciò la sua azione corrodente è allora più efficace, attesa la forza della corrente; ed i maggiori guasti alle sponde ed ai loro munienti avvengono appunto in tali circostanze. In queste variazioni di corso si manifestano talvolta filoni molteplici. La permanenza dello stato delle acque rende meno variabile la posizione del filone principale e quindi del thalweg, lo che influisce ad agevolare la navigazione anche in tempo di magra.

32. Tutte quelle variazioni di corso fanno sì che ad ogni piena le deposizioni colle quali si formano le isole e le alluvioni prendono un aspetto particolare, variando la mole delle materie che le costituiscono, e per tal modo si dispongono in istrati distinti. In questi alternano le sabbie più o meno minute, le loro miscele in varie proporzioni col limo e coll'argilla, ed eziandio queste materie pure, strati che si sovrappongono ad ogni piena, e perciò chiamansi *rimesse*. Attesa la tenue loro inclinazione sembrano all'occhio orizzontali. Lo stesso avviene anche pei fiumi che scorrono in ghiaja,

ove gli strati di questa egualmente alternano cogli altri preaccennati. Allorchè una sponda è posta in corrosione, vedonsi distinte tali stratificazioni fino al livello di magra. Per le parti più basse conviene ricorrere alle terebrazioni onde riconoscerle. Mano mano che la corrente si allontana dal filone principale di una corrosione, scema la sua forza escavatrice, e si accresce la sua facoltà di deporre le materie trasportate. Dopo un certo punto questa giunge al limite massimo, ed a seconda che si procede verso la sponda opposta, scema la corrente in un colla copia delle materie convogliate, e quindi minori divengono le deposizioni. Quella parte culminante ove avviene la massima deposizione chiamasi dorso o *cavallo* dell' alluvione.

33. Il rapporto fra la larghezza dell' alveo del fiume e l' altezza delle sue sponde nelle proprie alluvioni dipende dal grado d'inerzia delle materie che ne costituiscono il fondo, ripetibile dalla loro mole, e dalla maggiore o minore consistenza delle sponde. Così ove il fondo è costituito di ciottoli e di grosse ghiaje, con sponde formate da queste e da sabbie incoerenti, facili perciò a rimanere corrose, il fiume occupa talvolta una larghezza più che decupla di quella che assume ne' suoi tronchi inferiori, ove scorre in sabbia od in limo. Quando nelle sponde di questi prevale l' argilla, che ne accresce la resistenza alla corrosione, il fiume scorre raccolto in sezione più ristretta e profonda.

34. I fiumi prendono nelle proprie alluvioni un corso talora serpeggiante e talora vagante, con molteplici canali ed isole interposte. I serpeggiamenti sono di solito effetto di poca pendenza del fondo, e nel bacino del Po scorgonsi in lunghi tratti a monte ed a valle di influenti torbidi in recipienti che lo sono meno, come sarebbe presso della foce della Trebbia nel Po; del Serio nell' Adda, e del Mella nell' Oglio. Nelle acque di un fiume, oltre al movimento di discesa sulla linea del generale suo andamento, che abbiamo chiamata *direttrice,* si osservano altri movimenti secondarj in senso più o meno obliquo. Di questi, come vedemmo, talora è causa la forza centrifuga nella concavità delle svolte; ma ne' fiumi che hanno forte pendenza e trascinano materie pesanti, quei movimenti sogliono essere anche effetto della chiamata delle acque da un canale ad altro canale d' inferiore livello, e si chiamano in tal caso *movimenti di cascata.* Un influente torbido che entra in un fiume

meno torbido, ne suole rialzare il fondo, formando una specie di scanno alla foce. Scemata perciò la pendenza del tronco superiore, il movimento obliquo prevale a quello di discesa, che possiamo chiamare diretto; e rendendosi così più insistente l'azione corrodente delle acque contro le sponde, il corso tende a divenire serpeggiante. Nel tronco a valle la pendenza ne verrebbe accresciuta, e tale circostanza dovrebbe produrre effetti contrarj. Ma la maggior copia delle torbide portatevi dall' influente rende più elevate le deposizioni riferite al livello della piena, e così più difficile riesce che vengano solcate dalla corrente, che senza di ciò potrebbe operare naturali raddrizzamenti, o salti. Perciò le acque, corrodendo le sponde, propendono a conservare un moto obliquo, il quale, ove prevalga al moto diretto, produce altri serpeggiamenti. Questi d' ordinario si svolgono in una zona la cui larghezza equivale a circa *venti volte* quella ordinaria del fiume, con raggi di curvatura proporzionali alla sua portata. Ne consegue che tali serpeggiamenti segnati sulle carte rappresentano la fisonomia del fiume, ed ove corrispondono ad un corso derelitto di esso, agevole si è lo scorgere a quale appartenga.

35. Ne' tronchi di forte pendenza, non sopraccarichi di torbide, prevale il movimento diretto. Ma quando il fiume trascini materie pesanti, vi si combinano i movimenti di *cascata*, che danno origine all' aprimento di nuovi canali; nel qual caso si divaga bensì fra più diramazioni, ma con grandi tratti rettilinei, come vedesi nel Ticino, nell' Adda, ed eziandio nel mentovato tronco del Po fra la foce di questa e dell' Oglio, ove scorre in ampia sezione sopra grossa sabbia, che prevale anche nelle sponde, le quali per ciò sono poco resistenti.

36. Ne' fiumi torrentizj che scorrono in ghiaja o ciottoli, ed hanno piene di breve durata, il fondo si dispone in relazione al corso di queste soltanto, rimanendo pressochè inalterato negli intervalli che le separano. Ma nè' fiumi di grande portata e perenni che hanno forza di corrodere le loro sponde ed alluvioni e di smuovere il fondo anche in acque ordinarie e magre, vedemmo come ne' diversi loro stati varii la direzione del filone e quindi la posizione del thalweg. Ne consegue che per essi al sopravenire di una piena, scorgesi ne' suoi primordj una considerevole perturbazione di corso che si appalesa nei molti vortici e bollimenti, de' quali

in tali circostanze vedesi disseminata la superficie delle acque, ed in correnti saltuarie violentissime (6).

Art. IV. — **Portata de' fiumi nei varj loro stati.**

37. La portata de' fiumi varia col variare nelle diverse stagioni la copia delle acque affluenti, sia per piogge o disgelo di nevi, sia per sorgenti. Le loro piene distinguonsi in tre stadj o periodi, di piena crescente, di colma, e di piena decrescente, e se ne misura la portata in questi diversi stati col moltiplicare le loro portate unitarie medie, ossia per 1″, pei tempi di loro durata, con che si ha la portata integrale per quel dato periodo, o pel complesso di questi. Altrettanto si fa per gli altri stati più depressi.

38. La portata integrale di un fiume nel corso di un anno divisa pel numero de' secondi che questo contiene, dà la portata media unitaria per quell' anno. Calcolata poi per una serie d' anni, la portata media che ne risulta prende il nome di *modulo,* il quale determina il grado d' importanza dei singoli fiumi, ed indica la portata ordinaria di essi. Per calcolare tali quantità richiedesi una scala di portate riferita alle altezze di un idrometro.

39. Magra ordinaria del fiume chiamasi quello stato nel quale, se è navigabile, si comincia a risentire qualche difficoltà nel praticarlo, cosicchè questo stato riesce alquanto indeterminato. La magra massima annuale è la media delle magre massime di ciascun anno, determinata per una serie d' anni, e la magra massima assoluta è quella che in quel periodo fu maggiormente pronunziata. Tali magre si rappresentano colla loro altezza idrometrica, ed anche colla loro portata unitaria, nel modo preaccennato.

40. Il grado di perennità di un fiume si deduce dal rapporto fra la portata della magra massima annuale ed il modulo. Essa è tanto maggiore quanto più vasto è il bacino fluviale, e quanto più varia l' indole de' suoi tributarj, in guisa che i loro afflussi giungano al recipiente in tempi diversi. Ciò avverrà quando questi sieno in parte jemali ed in parte estivi, i quali ultimi sono

(6) Oltre a' miei scritti indicati nella precedente nota (4), vedansi i seguenti: Mem. del 1852 *Sui cangiamenti* ecc.; *Notizia sulla piena dei fiumi della Lombardia* del 1855, *Giornale dell' Istituto Lombardo*, T. VIII; *Considerazioni sulla scala padimetrica di Pontelagoscuro, Politecnico,* Marzo 1867.

molto più perenni, attesa la lentezza del disgelo delle loro nevi e de' ghiacciaj, e più ancora quando attraversano laghi di molta capacità, i quali ne moderano gli efflussi, come vedremo più avanti. Ad accrescere la perennità concorre eziandio la copia delle sorgenti, a cagione della maggiore permanenza del loro deflusso. Vedremo come queste porgano il precipuo alimento del Tevere, cosicchè il suo reggime sarebbe veramente singolare, avuto riguardo alla straordinaria sua perennità, ed al carattere torrentizio delle sue piene (1).

Art. V. — **Dei laghi. — Laghi aperti.**

41. Allorchè uno o più fiumi si scaricano in un lago per uscire di poi dal suo emissario, questo chiamasi *lago aperto*, ed il reggime di quelli viene ad assumere un carattere particolare. Le acque affluenti in piena crescente, in parte si accumulano nel lago, rialzandone il livello, ed in parte ne escono. In piena decrescente, coll' abbassarsi delle acque del lago, si accresce la portata di quelle che ne escono.

42. Un lago viene alimentato: 1.° dalle acque che vi portano i fiumi suoi tributarj; 2.° da quelle che vi si aggiungono per infiltrazione nella cavità del suo bacino; 3.° dalle piogge che direttamente cadono sulla sua superficie. Al complesso di quelle acque si dà il nome di *afflussi*. Questi si esauriscono: 1.° colle acque che si scaricano mediante l' emissario; 2.° colle effiltrazioni nel fondo del suo bacino; 3.° colla evaporazione sulla superficie del lago; perdite che in complesso chiamansi *efflussi*.

43. È cánone fondamentale del reggime dei laghi, che *per un tempo dato, la quantità degli afflussi è eguale a quella degli efflussi, più o meno quella di cui si è aumentato o diminuito il lago.* Ne consegue che, qualora si abbia una scala delle portate dell' emissario, e si conosca la superficie del lago alle varie sue altezze, si potrà calcolare la portata dell' afflusso per un tempo dato, nel

(1) Vedansi: Mem. precit. *Sul sistema idraulico del Po; Notizie naturali e civili;* Memoria del 1846, pubblicata anche nel 1854, *Dell' importanza degli studj sulla statistica de' fiumi;* Mem. del 1867 *Sulla scala padimetrica;* Mem. *Sull' Estuario adriatico* del 1868.

caso di alzamento delle acque, col sommare l'efflusso integrale contemporaneo e l'incremento delle acque del lago, che si ha moltiplicando la sua superficie media per la misura dell'alzamento avvenuto. Pel caso di abbassamento del lago, dall'efflusso integrale per quel dato tempo, sottraendo il decremento delle acque di esso, si ricaverà la misura dell'afflusso.

44. Questa facoltà che ha un lago di scemare gli efflussi colle acque ivi accumulate, e di aumentarli collo scarico di queste, chiamasi *capacità moderatrice*, la quale agisce sui fiumi come i pendoli od i volanti sulle macchine, onde regolarne il moto. Tale capacità moderatrice sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la superficie del lago, e l'altezza sotto la quale potranno in esso accumularsi le acque, dal limite della massima magra a quello della massima piena; e quanto minore sarà in proporzione la superficie del bacino scolante.

45. Questa proprietà dei laghi esercita una influenza sommamente benefica sul reggime dei fiumi emissarj, moderando la portata delle loro piene, ed alimentandoli nelle magre. Basta il dire che nella piena straordinaria del Lago Maggiore avvenuta nell'autunno del 1868, quella d'afflusso oltrepassò in due volte la strabocchevole misura di 10000 m. c. per 1″, di una metà superiore alla portata della piena massima del Basso Po, riducendosi l'efflusso, nella prima volta ad un terzo, e nella seconda volta ad una metà.

46. Quando per una serie di giorni il livello del lago rimane inalterato, quindi in istato permanente, ciò è effetto della eguaglianza di portata degli afflussi e degli efflussi. Nel corso di una piena avviene pure siffatta eguaglianza, allorchè l'afflusso è scemato in guisa di pareggiare l'efflusso; ed in tal caso si avrà uno stato passeggiero di semplice equilibrio, col limite massimo d'elevazione del lago, e quindi della piena di efflusso. Ne consegue che la massima piena di afflusso precede sempre quella di efflusso, e quindi quella del lago.

47. Gli afflussi e gli efflussi sono proporzionali ai tempi, e lo sono pure gli incrementi o decrementi delle acque d'un lago, quando la sua superficie sia costante. Ne consegue che se in tal caso si volessero determinare gli effetti derivabili da una data alterazione dell'emissario, ossia della scala degli efflussi, vi si po-

trebbe riuscire con calcoli analitici, alquanto però complicati. Ma qualora la superficie del lago fosse variabile, pressochè impossibile tornerebbe siffatto calcolo, attesa l'estrema sua complicazione. E nell'uno e nell'altro caso invece è agevole raggiungere l'intento col metodo pratico di *falsa posizione*, mediante pochi tentativi.

48. Supposto che, giusta il cánone preaccennato, siensi calcolati gli efflussi e gli afflussi per una data piena, partendo da uno stato permanente del lago, e si volesse conoscere la modificazione degli efflussi e degli alzamenti di esso per un'alterazione della scala degli efflussi e per una identica successione di afflussi, basterà volta per volta trovare quell'elevazione del lago che basti ad esaurire l'afflusso, in parte col volume d'incremento delle acque, ed in parte coll'efflusso contemporaneo risultante dalla nuova scala. Mediante tre o quattro tentativi si giunge a determinare con sufficiente approssimazione le singole quantità cercate, il complesso delle quali porge la soluzione del problema.

49. Quando l'emissario d'un lago venga semplicemente abbassato, conservando la stessa latitudine nelle sue oscillazioni, non si altera sensibilmente la sua azione moderatrice, a meno che non scemi per tal modo in misura notevole la superficie del lago. Ma se venga allargata la sezione dell'emissario, o se anche senza di ciò se ne disponga il fondo in guisa di prestarsi, ad alzamenti pari, ad un più abbondante scarico delle acque, collo scopo di abbassarne le piene senza abbassare la magra, in tal caso scemerà la capacità moderatice del lago, e le piene di efflusso riusciranno di maggiore portata. Se venisse abbassato l'emissario, ma allo scopo di non alterare il livello di magra, o di utilizzare in maggiore misura le acque del lago, si tenessero queste artificialmente invasate, scemerebbesi l'azione moderatrice del lago, atteso che al sopravenire di una piena dovrebbesi tosto scaricare l'invasamento operato. Quest'ultimo punto verrà anche più avanti discusso ove si parlerà delle derivazioni dai laghi (art. XX).

50. Le acque di un lago profondo si conservano generalmente ad un livello pressochè perfetto, ossia orizzontali. Uno slivellamento sensibile avviene per l'azione del vento, alzandosi il lago verso l'estremo cui questo è diretto. Anche in occasione di piena, scorgesi un sensibile gonfiamento delle acque in prossimità della

foce dei fiumi affluenti (1). Avviene pure sopra certi laghi uno slivellamento chiamato *Seiche*, che sembra attribuibile ad una ineguale pressione atmosferica sulle acque a' suoi estremi; fenomeno che dà luogo a notevoli e sensibili oscillazioni del suo livello di breve durata. Esso scorgesi talvolta nel lago di Ginevra, ma ben di rado, ed in proporzioni minime sui laghi della Lombardia.

51. Quando i laghi sono di grande capacità, si può per breve tempo chiudere il loro emissario allo scopo di difendersi dalle piene dei tronchi inferiori di questo. Così pel lago di Ginevra l'ispettore Vallée ha proposto, in occasione di piena del Rodano, di chiuderne l'emissario, e di divertirvi per alcuni giorni l'Arve, che si scarica a valle in prossimità di questo (2). Si è egualmente proposto di liberare Mantova dalle inondazioni cagionate dal lago Inferiore e dal Mincio, rigurgitati dal Po, escludendo con una chiusa tali rigurgiti, e chiudendo in paritempo per alcuni giorni l'emissario del lago di Garda in Peschiera come si vedrà più avanti.

52. La limitata superficie dei laghi della Lombardia fa sì che le variazioni di efflusso per effetto di quelle degli afflussi avvengano con brevissimo intervallo, e con notevoli oscillazioni nel loro livello, cosicchè al termine dell'anno la portata integrale degli afflussi pareggia prossimamente quella degli efflussi, meno pel più capace di essi, che è il lago di Garda, ove l'abbondanza o la deficienza degli afflussi annuali si manifesta anche negli efflussi dell'anno successivo. Ma pei grandi laghi, come sarebbero quelli dell'America del Nord, e per gli equatoriali, ove ha le sue sorgenti il Nilo, scorgonsi fenomeni ben diversi nel loro reggime, che va soggetto a variazioni comparativamente minime.

53. I grandi laghi dell'America del Nord sono quattro, a monte della cascata del Niagara, della superficie complessiva di 170000 chilom. q., quindi 500 volte maggiore di quella del Lago di Garda, il più vasto della Lombardia. Il così detto *Lago Superiore*, della superficie di 62000 chilom. q., si getta col fiume Santa Maria nel lago *Huron*, che è unito mediante uno stretto al lago *Michigan*,

(1) Questo rigonfiamento dei laghi in prossimità della foce di un affluente erasi pure notato dal Guglielmini nel Cap. VII della *Natura de' fiumi*, Raccolta di Bologna, T. I, pag. 207.

(2) Vedasi la mia Memoria del 1858 *Sulle inondazioni della Francia*, Nota fin. (H).

ed è con questo della superficie di 88000 chilom. q. Mediante il fiume Saint Clair l' Huron si scarica nel lago *Erié*, della superficie di 20000 chilom. q., da cui colla famosa cascata esce il Niagara, che si getta nell' Ontario. Il bacino in essi scolante è circa triplo della loro superficie complessiva. Attesa l' immensa azione moderatrice di que' laghi disposti a scaglioni, l' Erié non va soggetto ad oscillazioni sensibili, meno in lunghi periodi, quando si accumulano per una serie d' anni gli effetti di estati calde, con poca quantità di pioggia e di neve, quindi la massima evaporazione coi minimi afflussi; oppure in senso contrario di piogge e nevi copiose con estati fredde ed umide. Qualche oscillazione, talora di circa mezzo metro, ha luogo per effetto dei venti, ma è passeggiera, cessando al cessare di questi. La portata dell' emissario Niagara venne misurata in 10000 m. c. per ogni secondo.

54. Il grande lago equatoriale *Vittoria Nianza,* scoperto nel 1858 e nel 1862 da Speke, si getta nel lago *Alberto Nianza,* scoperto di poi nel 1864 da Baker, d' onde esce il Nilo Bianco o Kir, la cui portata oscilla prossimamente fra 1000 e 500 m. c., portata che a cagione dei successivi disperdimenti si attenua nel Nilo inferiore in notevole misura. La superficie di que' laghi non diversifica molto, a quanto pare, da quella dei laghi americani, lo che vale anche rispetto alla misura della pioggia sul loro bacino. Ma immenso è quivi l' effetto dell' evaporazione, sia sul bacino scolante, sia sulla superficie dei laghi, cosicchè la portata dell' emissario riducesi a meno di un decimo di quella del Niagara.

Art. VI. — **Laghi chiusi.**

55. I laghi chiusi, privi cioè d'emissario, vanno generalmente soggetti a considerevoli oscillazioni, non tanto annuali, quanto a lungo periodo, pei motivi accennati al § 53 rispetto ai grandi laghi dell' America del Nord. Ne consegue che se le loro adjacenze sono abitate, e soggette ad inondazioni per le piene più elevate, si è talvolta procurato di provvedere al loro scarico con opere dispendiosissime al fine d' impedire tali disastri. In qualche caso si è eziandio avuto di mira il totale prosciugamento del lago onde utilizzare il fondo del suo bacino.

56. Il piccolo lago Albano fra Roma e Velletri, della superficie di soli 7 chilom. q., fino dall' anno 360 di Roma venne fornito di emissario sotterraneo della lunghezza di 2230^{m}, opera imponente ove si mettano a calcolo le immense difficoltà che in que' tempi si opponevano alla sua esecuzione.

57. Al lago Fucino negli Abruzzi fu pure applicato un emissario sotterraneo lungo 5600^{m} per scaricarne le acque nel fiume Liri, opera fatta eseguire dall' imperatore Claudio, la quale dopo breve tempo è rovinata. Fu successivamente tentata la sua restaurazione, ma sempre senza effetto durevole. La superficie del lago è di chilom. q. 145 in magra; 150 in istato ordinario, e 165 in piena straordinaria. La superficie del bacino scolante chiuso fra creste di monti è di chilometri quadr. 700, de' quali 600 nella regione montuosa.

58. Sembra che in epoche antistoriche la superficie del lago si estendesse a circa 270 chilom. quad., coprendo anche i così detti Campi Palentini, ove in parte sottopassa l' odierno emissario, e che uno allora ne avesse naturale nel fiume Salto, influente del Velino e quindi del Tevere. Quella maggiore estensione del lago pare debba corrispondere al periodo glaciale, attesa allora la minore evaporazione sulla sua superficie, e sul bacino scolante; ed una quantità di pioggia poco minore, in quanto che alla minor copia dei vapori trasportati dai venti della marina, si associava una minore loro elevazione negli strati atmosferici, ed una maggiore azione refrigerante nella regione montuosa ove erano trasportati.

59. Il governo di Napoli nel 1853 passò a fare un contratto con una società imprenditrice, rappresentata oggidì dal principe Alessandro Torlonia di Roma, per la cessione della proprietà del lago, coll' obbligo di prosciugarlo e di restaurare l'emissario di Claudio. Il progetto relativo venne steso dal chiarissimo ingegnere in capo dei ponti e strade di Francia Montricher, che aveva fatto costruire il canale di Marsiglia derivato dalla Durance. Mi si fa credere che dapprima proponesse il totale prosciugamento del lago, ma che di poi, seguendo l' avviso ch' io aveva esternato in Memoria antecedente, coltivasse il partito di conservarne la parte più depressa qual serbatojo, o soratore delle piene, le quali non potessero integralmente scaricarsi coll' emissario. Questo venne per oltre tre quarti ricostrutto, duplicando la superficie della sua sezione, che

era di soli 10 m. q., e regolando anche la pendenza del fondo di esso (3).

60. Venuto a morte nel 1858 il Montricher, che aveva assunta la direzione dei lavori, l'Impresa passò quest' incarico a' suoi collaboratori. Nel 1861 uscirono due brevi Memorie, che si suppongono di questi, in una delle quali dicevasi di volere prosciugare interamente il lago. Accennavasi bensì che si sarebbe conservata nella parte più bassa un serbatoio destinato ad accogliere *momentaneamente* le acque esuberanti nel caso di dirotte piogge e di repentino scioglimento di nevi, ma che la superficie di esso sarebbesi egualmente utilizzata, attesochè le acque si sarebbero principalmente deviate mediante *diversivi.* Stesi allora la Memoria del 1862 susseguita da due Appendici del Maggio e del Giugno 1866.

61. In questi scritti dimostro doversi provvedere con mezzi più efficaci all' evenienza di piene, ed a tal uopo proposi la costruzione di un serbatojo centrale in forma di semi-elissi per la parte più depressa del fondo del lago, ove si raccoglierebbero le acque che in parte la colmerebbero. Vi aggiungeva poi un bacino d'espansione ad esso circoscritto, ove scaricare l' eccesso delle maggiori piene, alternando con un ordine determinato lo scarico dell' uno e dell' altro, come pure delle acque interne scolanti sul rimanente dei terreni bonificati. Dopo di allora non ebbi ulteriori notizie sul procedimento dei lavori.

62. Nella Nota (*bb*) al § 230 della mia Memoria *Sulla natura dei laghi,* dò un cenno delle contestazioni non ha guari insorte fra il Governo e l'Amministrazione provinciale di Perugia sul piano di prosciugamento del lago Trasimeno, citando i varj scritti pubblicati su questo particolare. Quel lago è della superficie di chilom. q. 120 con un bacino scolante di soli 160 chilom. q. La sua altitudine è di 258^{m}; la profondità massima 7^{m}; e la media 6^{m}. Nel 1420 vi fu costrutto da Bracciofortebraccio un emissario sotterraneo per scaricarlo nel Caina, affluente del Nestore, e quindi del Tevere; emissario che venne reputato insufficiente, quantunque 60

(3) L' ingegnere Montricher venne a Milano nel 1846, ed a lui m'accompagnai per visitare i nostri grandi canali irrigui. In tale circostanza egli mi fece dono del profilo del canale di Marsiglia, e di alcuni suoi Rapporti relativi a quell' opera, e da me ricevette la Memoria *Sulla natura dei laghi,* ove parlo del Fucino e della proposta preaccennata di conservarne una parte.

anni dopo si fossero divertiti dal Trasimeno alle Chiane, i torrenti Tresa e Rio Maggiore, il cui bacino era di 80 chilom. q. Il Governo avrebbe conceduta l'opera di prosciugamento del lago con un piano che non conosco, nel quale mi si fa credere essersi compreso la formazione di un serbatoio centrale qual soratore delle piene, giusta la proposta da me fatta pel Fucino.

63. L'Amministrazione provinciale ha protestato contro tale concessione, dimostrando che non è stato a termini di legge sentito in prevenzione il consiglio provinciale dell'Umbria, e che non venne tale concessione sancita dal Parlamento. Essa dichiara che l'opera di prosciugamento sarebbe poco proficua e pregiudicevole alla salubrità dell'aria; e troverebbe preferibile il partito, di riformare bensì l'emissario, ma allo scopo di ridurre pressochè costante il livello del lago e di impedire le alternate emersioni delle basse gronde sul suo perimetro durante l'estate. Da un tecnico da essa interpellato si è emesso il parere di utilizzare le acque del lago anche per irrigazioni, lo che si considera impossibile, attesa la necessità di scemare coll'ultimo accennato piano, per quanto lo si può, l'abbassamento delle acque nell'estate, già per se eccessivo, in conseguenza dell'evaporazione. Dopo una Memoria del 1867 di essa Amministrazione provinciale, non conosco cosa sia avvenuto rispetto alla fatta concessione.

64. La valle del Messico è un vasto cratere pressochè elittico chiuso da colli, ed in parte da monti altissimi della Cordiliera, della circonferenza di 300 chilometri, e della superficie di circa 6600 chilometri quadrati. Sul fondo di essa esistono cinque laghi, sul più basso de' quali, il Tezcuco, sorgeva la capitale degli Aztecchi (oggidì Messico), che vi si erano stabiliti nel secolo XIV. Dopo la conquista della Spagna, seguita nel secolo XVI, essendosi diboscati i monti circostanti, si restrinse la superficie di quei laghi, e la capitale rimase distante quattro chilometri del lago Tezcuco, della superficie di 200 chilom. q. Due laghi nella parte meridionale, Chalco e Xochimilco, ed altro dal lato settentrionale, Sant Christobal, della complessiva superficie di 200 chilom. q., sono più elevati e separati da argini attraversati da chiuse, cosicchè possono comunicare col Tezcuco. Un quinto lago più elevato ancora verso settentrione, della superficie di 26 chilom. q., vi si univa pure in addietro, ma ne vennero divertite le acque insieme col fiume tor-

rentizio Guatitlan, mediante un emissario artificiale chiamato il *Desague Real.*

65. Gli Aztecchi si difendevano dalle inondazioni semplicemente con argini che separavano quei laghi. Ma, forse in conseguenza degli operati diboscamenti de' monti dopo la conquista Spagnuola, essendosi rese più rapide le piene, particolarmente delle acque discendenti dalla parte settentrionale del bacino, talchè ne rimaneva di tempo in tempo inondata la capitale, si divisò di deviarle mediante il mentovato emissario, dapprima per un tratto sotterraneo, di poi ridotto tutto a cielo aperto con trincee enormi che in alcuni punti giungono alla profondità di 60^m sotto il livello dei terreni circostanti. Le spese sostenute dal Governo spagnuolo per la costruzione, e per gli imponenti risarcimenti di quell'emissario, dicesi sieno ascese ad oltre 30 milioni di franchi, e con tutto ciò non si è raggiunto se non imperfettamente lo scopo.

66. Dopo la storia che si dà di quei lavori nella precitata Memoria sulla natura dei laghi, si è in essa aggiunta la Nota (*c c*) al § 256, ove si offre una più compiuta descrizione di quella valle, ed un più esteso ragguaglio delle circostanze di fatto concernenti gli ultimi tempi, ed anche un cenno dei posteriori progetti di scolo generale, che comprende anche lo scarico del lago più depresso.

67. Si fa ivi pure notare che non è assurda, come pretendeva il Tadini, l'induzione di Humboldt, che in epoche geologiche i laghi si estendessero alla più parte del fondo di quella valle. Ciò collimerebbe coll'osservazione fatta rispetto al lago Fucino al § 58, e colle mie considerazioni sull' idrologia dell'Affrica centrale. Nella terza Appendice al Saggio idrologico sul Nilo, dimostro infatti che il lago Tsad, pure chiuso, il quale occupa la grande depressione dell'Affrica centrale, doveva in addietro avere una superficie forse tripla, e tenuta a calcolo tale circostanza e quella eziandio che vi sono tracce evidenti di poderosi suoi affluenti, oggidi estinti, tracce che scorgonsi eziandio lunghesso il corso del Nilo, ne dedussi una prova che al periodo glaciale dovessero riferirsi quella maggiore estensione del lago e gli afflussi dei mentovati tributari attualmente estinti (4).

(4) Intorno ai laghi, oltre alle precedenti mie Memorie, *Della natura de' laghi* ecc., 2.ª edizione del 1865, coll'aggiunta di quella *Sulla sistemazione dei laghi di Mantova*

Art. VII. — **Circostanze che modificano la portata delle piene de' fiumi nei varj loro stadj.**

68. La varia indole dei fiumi tributarj, e la loro disposizione topografica, hanno un' influenza notevole sulla portata delle piene del fiume recipiente nei differenti loro stadj. Rispetto al Po, essendo i primi, come vedemmo, di natura diversa, e distribuiti regolarmente dalle sue sorgenti alle foci in mare, i loro afflussi riescono successivi, circostanza che concorre a scemare la portata massima delle piene del Basso Po. Quando la causa di queste è un fenomeno che si estende a tutto il bacino, come sarebbe nelle piene autunnali, promosse dalle piogge, dapprima affluiscono nei tronchi inferiori i fiumi torrentizj dell'Appennino a valle della Scrivia. Vi succedono di poi i fiumi alpini del Piemonte, e finalmente i fiumi lacuali della Lombardia, atteso il ritardo che avviene pel riempimento dei laghi che attraversano. L'azione moderatrice di questi poi, fa sì che i loro efflussi si riducono a circa un terzo degli afflussi. Le piene estive del Po, che durano parecchi mesi, sono dovute ai soli affluenti alpini pel disgelo delle nevi e de' ghiacciaj. Altrettanto avviene pel Rodano, i cui affluenti delle Cevenne sono jemali, quegli delle Alpi estivi, ed intermedj quelli del Jura. Ivi pure la varia distanza delle confluenze e delle sorgenti contribuisce a moderare le piene del tronco ultimo, ad accrescere però le quali concorre la ristrettezza del fondo della sua valle, a differenza delle vaste pianure in quella del Po, cosicchè gli affluenti in generale fino alla loro foce conservano un carattere torrentizio. Il lago di Ginevra ha poca influenza nel moderare le piene del Rodano, attesa la limitata estensione del suo bacino; ma a ciò supplisce la Saona, che per avere un corso

per liberare la città dalle inondazioni; *Sulle opere intraprese pel prosciugamento del lago Fucino*, dal 1862 al 1866, vedansi le seguenti:

Rispetto ai dati statistici sui laghi Maggiore, di Como e d'Iseo, e ad alcune questioni sul loro reggime, le Memorie concernenti le irrigazioni del Cremonese; quelle della valle del Po; il progetto di abbassare le piene del lago Maggiore; la Notizia sulla piena straordinaria di questo nell'autunno 1868. Tutte le Memorie precitate sonosi inserite nel *Giornale dell' Ingegnere-Architetto* per gli anni rispettivi, e trovansi eziandio negli *Atti* del R. Istituto Lombardo.

allungatissimo, partendo dalle sue sorgenti nel Jura alla confluenza in Lione, la sua piena vi giunge dopo che quella del Rodano ha incominciato a decrescere. Nel Tevere invece scorgonsi fenomeni ben diversi. Fatta eccezione dell'Aniene, ossia Teverone, le cui sorgenti sono le più prossime a Roma, la Nera col Velino; la Chiana colla Paglia, il Chiassio col Topino, e l'Alto Tevere, hanno le loro sorgenti a distanze all'incirca eguali dalla confluenza della Nera presso Orte. Ne consegue che le loro piene discendono quasi simultanee, e presso Roma giungono ad altezze straordinarie. La piena del 1846 si elevò a Ripetta, a monte della città a 12^m, e quella del 1598, massima di cui si abbia memoria, a 13^m sulla magra. Nella piena del Gennaio 1845, il fiume in ventiquattro ore si è alzato di $5^m, 45$, da $3^m, 0$, ad $8^m, 45$, sulla massima magra.

69. Nel 1844 ho dimostrato che il riempimento dell' alveo del Po, influisce in sommo grado ad attenuare le piene dei tronchi inferiori, cosicchè, quantunque la somma degli afflussi unitarj di quelle de' suoi affluenti superi i 14000 m. c. per 1", pure la piena massima del Basso Po, non raggiunge la metà di tale portata, effetto che in parte devesi attribuire anche alla notata successione delle piene degli affluenti. Nel precitato articolo inserito nel Politecnico concernente la scala padimetrica di Pontelagoscuro, ho rettificato quel calcolo riducendo i 1896 milioni di m. c. d' acque del Po invasate nel suo letto durante una piena massima a 1400 milioni. Questa massa d'acqua equivale però tuttavia ad un deflusso di piena massima del Po per due giorni ed un terzo, e viene sottratto alla portata integrale di piena crescente, per cui scema in notevole misura quella del colmo della piena, che viene invece prolungato anche con aumento di deflusso di piena decrescente. Per la combinata azione di quelle due cause, della successione degli afflussi e del riempimento dell'alveo, abbiamo notato che la portata della piena massima del Po è pressochè eguale alla foce del Ticino, a Cremona, ed a Pontelagoscuro, malgrado le affluenze interposte.

70. Anche l'azione del vento può influire a ritardare, od accelerare la corrente, quindi sul livello della piena. Dalle esperienze fatte sul Mississippi, di cui si parlerà in appresso, risulterebbe che tale influenza sarebbe tenue sulla velocità media del fiume; ma questo sarebbe ivi serpeggiante, circostanza che concorre in tale

attenuamento di effetto. Sopra un tronco rettilineo invece, quale sarebbe quello della Loira fra Orleans e la foce del Cher, lungo 130 chilometri, vedemmo che l'azione di un vento contrario deve essere notevole per tenere in collo la piena (1).

Art. VIII. — **Unione di fiumi ad altri fiumi e diversivi.**

71. Nell'unione di un fiume ad altro, accrescendosi la portata dell'ultimo, dovrebbe seguirne un' escavazione di letto, e quindi una minorazione di pendenza nel tronco a valle. Ciò avviene quando e l'uno e l'altro trasportino materie omogenee rispetto alla mole delle parti che le costituiscono, o che quelle dell' influente sieno più sottili, ed anche meno copiose. Ma se queste sono di mole maggiore, allora si alza di solito il fondo del recipiente onde accrescere la sua pendenza e coll'aumentata velocità rendersi capace di esportarle. Alla foce di questo elevasi allora un dorso pronunciato. Tale si è quello formato dalla Trebbia presso Piacenza, ove trasporta ghiaje e ciottoli nel Po, che scorre in sabbia. Un effetto analogo scorgesi pure nell'Adige alla foce dell'Alpone col Chiampo, quantunque il recipiente, e l'affluente scorrano in sabbia; lo che, sembra dipendere dall' essere più grossolana quella dell' ultimo, e fors'anche dalla maggiore torbidezza delle sue acque nelle piene. Allorchè, al principio del secolo XVII, rimase abbandonato il Po di Ferrara, ed il Panaro fu immesso arginato nel Po Grande, avvenne in questo un abbassamento di magra e di fondo che per ispirito di parte tanto il Guglielmini, quanto Eustachio Manfredi volevano attribuire all' ultimo. Io dimostrai che quell'abbassamento di fondo, che successivamente scomparve, dovevasi attribuire, non al Panaro, ma alla immissione del Po nel Po. Il posteriore alzamento del fondo stesso, a quanto pare oltre la misura primitiva,

(1) Rispetto alle questioni idrologiche svolte in questo art. VII, oltre alle Memorie citate nel testo, vedasi circa al reggime del Rodano la Memoria *Sulle inondazioni della Francia*. In quanto all' azione dinamica del vento sulle piene de' fiumi, vedasi la nota al § 143 della Memoria del 1860 *Sull' origine e progresso della scienza idraulica*, che risguarda la Loira; come pure la quarta Appendice al *Saggio idrologico sul Nilo*, ove dimostro essere verisimile che a tal causa abbiansi principalmente ad attribuire le oscillazioni delle piene del fiume nel suo tronco inferiore presso il Cairo.

sarebbe effetto del Panaro e per la maggior sua torbidezza, e per le sabbie che trasporta di maggior grossezza di quelle del Po (1). Temendosi che effetti analoghi possano aversi coll'immissione del Reno in Po, e che vi si aggiunga una maggiore elevazione di piene in questo, anche per l'accresciuta portata, con che sarebbe pregiudicato il reggime del Basso Po, siffatti motivi promossero l'opposizione all'attuazione di un tal piano, che fu oggetto di contestazioni fra i tecnici per oltre tre secoli; e di conflitti fra i territorj aventi interessi opposti.

72. Dividendosi un fiume in due rami con un diversivo, questo si dirà completo, ove la separazione prosegua con distinta foce, ed incompleto, qualora a valle la diramazione si congiunga di nuovo al fiume. Nel primo caso si avrà qualche abbassamento di piena, ma sempre un alzamento di fondo e di magra nel fiume principale a valle della biforcazione, tendente ad eliminare il notato abbassamento di piena. Analoghi inconvenienti si avranno anche con un diversivo incompleto, a meno che non fosse consigliato dalla soverchia ristrettezza della sezione del fiume attraversante una città, come sarebbe pel Rodano nell'interno di Lione, ove si è appunto proposto un diversivo, il quale però non dovrebbe essere operativo se non in tempo di piena. Un provvedimento simile venne praticato sulla Loira a Blois ed in qualche altro luogo. Anche un diversivo completo può essere utile in prossimità delle foci in mare (2).

Art. IX. — **Ultimo tronco de' fiumi, e loro foce in mare.**

73. La combinata azione attraente del sole e della luna sulle acque del mare fa sì che generalmente esso vada soggetto a due oscillazioni diurne chiamate maree, che per lo stadio ascendente

(1) Vedansi le mie Memorie, del 1852 *Sui cangiamenti* ecc., § 9, e del 1868 *Sull' Estuario Adriatico.*

(2) Vedansi le precitate Memorie, e quelle del 1840 *Sul sistema idraulico del Po*, e del 1858 *Sulle inondazioni della Francia* circa agli effetti dei diversivi. Vedansi pure le due prime Memorie d'Idraulica pratica dell'illustre Paleocapa pubblicate in Venezia nel 1859, rispetto al chiudimento del Castagnaro, diversivo delle piene dell'Adige.

diconsi *flusso*, e pel discendente *riflusso*. Tali oscillazioni sono maggiormente pronunziate nelle sizigie, e minime nelle quadrature. Quelle poi delle sizigie presso gli equinozi sono le massime. Nei mari interni siffatte oscillazioni sono piccole, come sarebbe nel Mediterraneo, ove di poco oltrepassano $0^m,30$ nella loro latitudine. Nel fondo del golfo Adriatico per altro quelle ordinarie delle sizigie, la cui media chiamasi *Comune*, raggiunge $0,^m85$ nella laguna veneta, ed 1^m fuori del lido. Nell'Oceano invece le maree raggiungono 3^m, 4^m e perfino 23^m di latitudine. I francesi chiamano *le* maree delle sizigie *de vives eaux;* e quelle delle quadrature *de mortes eaux*.

74. Le foci de' fiumi in mare assumono insieme all' ultimo loro tronco un carattere affatto distinto a seconda che lo sbocco avviene piuttosto nell' Oceano che in un mare interno. Nel *primo* caso, quantunque trasportino al mare materie alluviali, il loro fondo si deprime in guisa che il dorso formato dalla miscela di queste e dalle materie respinte dal mare, trovasi a notevole profondità sotto il livello infimo di questo. L'azione corrodente poi delle maree fa sì che l' ultimo tronco fluviale si dilata talvolta al punto di rassomigliare ad un seno di mare, talchè il suo delta deve considerarsi negativo. E ciò tanto più quanto è minore la quantità delle materie convogliate dal fiume. Così la foce del Tamigi, che per sè stesso è fiume insignificante, ha la larghezza di cinque chilometri; quella del San Lorenzo di novanta chilometri e quella del fiume delle Amazzoni, il più poderoso del mondo, trecento chilometri. Quelle insenature vedonsi disseminate d' isole formate generalmente dai depositi del fiume, le quali costituiscono una specie di arcipelago (1).

75. Nei mari interni invece i fiumi formano un delta positivo coi loro interrimenti, siccome avviene pel Rodano e pel Nilo nel Mediterraneo e per il Po nell'Adriatico. Divenendo perciò pressochè invariabile in qualsiasi stato il livello delle loro acque allo sbocco in mare, ne consegue che il profilo del pelo d'acqua, che ne' tronchi superiori costituisce una curva concava allo insu con una progres-

(1) Per le maree e per le foci de' fiumi oceanici vedasi la Memoria di Bouniceau: *Études sur la navigation des rivières à marée,* Paris 1845; e la recentissima di Lagrené, *Cours de navigation intérieure.* Paris 1869.

siva minorazione di pendenza, dal punto in cui la piena risente la chiamata dello sbocco in mare, la curva cangia la sua concavità in convessità con aumento di pendenza sempre crescente fino a divenire massima presso la foce. Ivi si ha la più grande depressione del fondo, che di poi diviene acclive, colla formazione di uno *scanno, o barra* ove, colla minima profondità, si spianano le acque del fiume su quelle del mare. In quest'ultimo tronco la corrente escava sezioni di una superficie eccessiva, proporzionata alla portata delle piene, cosicchè in magra riesce lentissima con una pendenza insensibile (2). Dovendo occuparci particolarmente del delta del Po, estenderemo le nostre osservazioni all'intero estuario Adriatico, tessendo eziandio la storia dei cangiamenti avvenuti nell'uno e nell'altro.

Art. X. — **Estuario Adriatico — Cangiamenti in esso avvenuti — Colmamento delle paludi presso l'ultimo tronco del Po, e loro bonificamento.**

76. Il golfo Adriatico nel suo fondo ed all'estremo della riva occidentale fra l'Apennino e le Alpi riceve i poderosi fiumi dell'Alta Italia, i quali colle loro deposizioni formarono la vasta pianura interposta, colmando le preesistenti paludi. Combinandosi ivi la limitata profondità del mare, l'azione respingente di questo sulle materie costituenti il proprio fondo, l'affluenza di quelle trasportatevi dai fiumi, l'effetto dei venti dominanti, e di una corrente delle acque marine da sinistra a destra, vi si formò una duna o lido di sabbie parallelo alla terra ferma, che chiamasi cordone litorale. Lo spazio compreso fra questo e quella era appunto la laguna, ossia estuario Adriatico, che per varie aperture o porti comunicava col mare, ed era come questo soggetto alle maree.

77. Da Rimini ad Altino lunghesso la riva occidentale, quel cordone costituiva una curva regolarissima avente la corda di 160 chilometri e la freccia di 30 chilometri. Il primo tratto, partendo da Rimini, fino all'odierna foce di Reno-Primaro, avanti al suo

(2) Vedansi le mie Memorie, *Sul sistema idraulico del Po*; le *Altre osservazioni sul Po;* quella del 1852 *Sui cangiamenti* ecc.; la *Notizia sulla piena autunnale del* 1855; e la parte III della Memoria *Sull'Estuario Adriatico.*

colmamento, era un vasto stagno che chiamavasi *Padusa;* il tratto successivo fino alla foce dell'Adige lo chiameremo *Estuario Padano,* perchè costituisce il delta del Po; ed il tratto continuativo fino ad Altino, verso il cui estremo settentrionale surge Venezia, costituisce la *laguna veneta.* Nella parte settentrionale, sul fondo del golfo, la laguna detta *Caprulese,* ossia di *Caorle,* in lunghezza di 90 chilometri, non presenta più regolarità di curva nel proprio lido fino alla così detta Punta di Sdobba, lo che sembra doversi attribuire alla particolare azione dei venti, e più ancora al carattere torrentizio dei due suoi affluenti più poderosi, la Piave ed il Tagliamento.

78. La laguna Caprulese in epoche storiche sarebbesi colmata in notevole misura e prolungata per ben tredici chilometri nel seno di Monfalcone, congiungendosi nel preaccennato suo estremo della punta di Sdobba all' Isonzo il Natisone, che durante la dominazione romana bagnava invece le mura di Acquileja.

79. Fondata, come dicemmo, Venezia verso l'estremo settentrionale della laguna dello stesso nome, allo scopo d' impedire le deposizioni alluviali del Brenta, che minacciavano di arrecare danni sempre maggiori a quella metropoli, nè fu divertito per sboccare insieme al Bacchiglione verso l' estremo meridionale, ove venne colmata integralmente la laguna presso Brondolo. L'Adige che pure in essa si versava, dopo essere andato soggetto a notevoli cangiamenti di corso nella superiore pianura, ha di poi formato un proprio promontorio fuori del cordone litorale, il quale fino ad Altino non è giammai andato soggetto a protendimenti in mare.

80. Da Rimini a Ravenna, e da questa città all' odierna foce di Reno-Primaro, estendevasi la fronte della grande palude *Padusa,* nella quale si scaricavano gli affluenti dell'Apennino che la colmarono integralmente. Fondata Ravenna dai Tessali sopra il cordone litorale, circa dodici secoli innanzi all' êra volgare, fino ai tempi della dominazione Romana aveva di fianco un celebre porto nella prossima laguna di Classe, capace di ricevere una poderosa flottiglia. Ma pochi secoli dopo esso rimase colmato dalle alluvioni dei fiumi, ed oggidì Ravenna trovasi distante otto chilometri dal mare. Una reticola di quadratelli della superficie di una centuria romana, segnata sulle carte topografiche, che si estende da Cesena a Bologna, la più parte in contatto della strada Emilia, indica

la divisione de' terreni assegnati alle antiche colonie romane, ed in pari tempo la traccia ove giungeva il margine di quella palude. Avanzi di tali reticole in altre parti delle pianure subapennina e subalpina, porgono pure la soluzione di questioni idrologiche e storiche.

81. L'estuario Padano, ove variarono le foci del Po, si estende, come vedemmo, colla sua fronte dalla foce dell'Adige al Reno-Primaro, cui corrispondeva il ramo principale del Po detto Eridano. Ivi gli Elleni venuti contemporaneamente ai Tessali avevano fondata la città di Spina, che dopo pochi secoli decadde per cambiamenti avvenuti nel corso del Po. Occupata di poi la valle di questo dagli Etruschi, istrutti i medesimi della sorte infelice di Spina, eressero la loro metropoli Adria sul margine della laguna, bagnata dal fiumicello Tartaro arricchito da acque limpide derivate dalle così dette Fosse Filistine da essi escavate nelle paludi, ed a quanto pare anche da quelle del Mincio, dopo avere sul corso di questo fondata Mantova. E per impedire che il Po colle sue torbide portasse danno alla loro sede, lo divertirono in varii rami, come vedremo in appresso.

82. Avanti di dare un cenno dei cangiamenti avvenuti nell'ultimo tronco del Po, e nelle sue foci, richiamiamo quanto si è esposto al § 25, rispetto al modo col quale è proceduta la colmata delle paludi operata da esso, e da' suoi affluenti. Sulle carte topografiche da ultimo pubblicate, agevole riesce lo scorgere la traccia dell'alveo derelitto di un fiume torbido, in quanto che il medesimo corrisponde alle parti più elevate del terreno in forma di striscie sulle quali più frequenti sono gli abitati. Per tal modo si è potuto tener dietro ai molti cangiamenti cui soggiacque il corso dell'Adige, che in origine toccava Este, e di poi si portò a mezzodì della palude o laguna del Foresto nelle fosse Filistine con successive diversioni, sempre verso occidente. La rotta della Badia sarebbe avvenuta nella sponda sinistra dell'Adigetto, anteriore corso del fiume. Altrettanto si è fatto per indagare i cangiamenti avvenuti nel corso dei torrenti dell'Apennino fra l'Enza ed il Panaro.

83. Circa poi alle alluvioni deposte dalle foci del Po, esse hanno una forma distinta secondo che più o meno rapido fu il loro protendimento nel mare. Quando questo procedeva lentamente, formavasi un nuovo cordone litorale, che a destra ed a sinistra si

univa ad altro preesistente. Se il protendimento della foce era più sensibile, ma moderato, l'alluvione diveniva radiante, costituita cioè a destra ed a sinistra della foce da una serie di piccole dune di sabbia o limo che si raggruppano a qualche distanza a foggia di pennacchio ove il lido era rimasto stazionario, formandosi ivi due nodi. Se poi il protendimento era rapido, sia per la portata della foce, sia per la copia delle materie trasportate dalle acque, l'alluvione prendeva la forma di promontorio sporgente dal cordone litorale, suddiviso da molteplici canali, siccome avvenne per le odierne foci del Po, ed avveniva eziandio per l'antico delta di Comacchio, del quale i rami derelitti del Po costituiscono lo scheletro. La forma e la posizione delle alluvioni di quelle foci riferite al cordone litorale vengono così ad indicare la loro antichità relativa, e dietro riscontri con documenti storici, per alcune di esse se ne può desumere anche l'antichità assoluta, facendo per siffatta guisa l'ufficio di veri cronometri. Combinando per tal modo le traccie di antichi corsi del Po, de' suoi affluenti e dei prossimi fiumi delle provincie venete che colmarono le preesistenti paludi, le induzioni che se ne ricavano sulla serie dei cangiamenti avvenuti, costituiscono un nuovo ramo di scienza che può chiamarsi *geologia storica*. Nessun altro paese del mondo offre un campo più opportuno allo studio di questa, sia per l'entità ed estensione dei cangiamenti avvenuti, sia per l'antichità ed importanza dei documenti che vi si riferiscono (1).

84. Le notizie più antiche e precise sulle foci del Po ci vennero date da Plinio, il quale dimostrò in che consistesse il piano degli Etruschi per divertire il Po in vari rami, e per riunirli nelle lagune mediante canali trasversali. Questo piano influì grandemente ad accelerare il colmamento di quelle immense paludi. Ai tempi di Plinio la foce più meridionale del Po era il Primaro da lui chiamato *Eridano,* d'onde staccavasi un canale detto *Fossa Augusta,* che metteva capo a Ravenna. Succedevano ad essa le foci *Caprasia*

(1) L'importanza di queste induzioni risultanti dalla mia Memoria *Sull' Estuario Adriatico,* mercè le quali si rivelano fatti storici ed idrologici di non lieve momento dalla sola ispezione di carte topografiche, scorgo non essere stata apprezzata come meritava. In ciò avrà forse influito la piccolezza della scala della tavola che vi si riferisce, particolarmente per chi non è familiare con queste materie idrologiche, difficoltà che verrebbe tolta coll'esame dei fogli delle carte topografiche che era impossibile unire alla Memoria.

e *Sagi* nel delta di Comacchio, quindi la foce *Volana* od *Olana*, che colla prima circondavano quelle valli. In quanto al piano degli Etruschi, sembra che in origine consistesse nel divertire innanzi tutto il ramo del Po che discendeva ad Ariano in prossimità di Adria, riunendolo allo Spinetico a destra. A sinistra di questo sarebbesi derivato il Volano, alla destra del quale si staccarono i due rami, Sandalo da Codrea, e di Comacchio, il quale ultimo divenne prevalente in guisa di formare, come dicemmo, un promontorio o delta fuori del cordone litorale. Nei primi secoli della dominazione romana rimase derelitto il tronco superiore del ramo Spinetico, e di poi quello di Comacchio, divenendo prevalente il Volano ed il Sandalo che solo allora alimentava il Primaro. Nel secolo VII si eresse Ferrara sul Volano, congiungendolo con una fossa al ramo Spinetico, che erasi riattivato dopo la perdita di quello di Comacchio; fossa chiamata Gaibana, che di poi divenne il tronco superiore del Primaro, partendo dalla punta di S. Giorgio, biforcazione di questo e del Volano.

85. Alla metà del secolo XII avvenne la memorabile rotta di Ficarolo, che dette origine all' odierno Po di Venezia. Quello di Ferrara, che si divideva ne' mentovati due rami del Volano e del Primaro, in causa degli interrimenti portativi dai torbidi torrenti dell' Apennino, sul cadere del secolo XVI rimase derelitto, e tutte le acque del Po si riunirono nel braccio di Venezia. L' ultimo tronco di questo, detto *delle Fornaci,* si è in quel tempo divertito col Taglio Veneto, ossia di *Porto Viro,* nella Sacca di Goro, operazione eseguita a tutela dei porti veneti contro gli insabbiamenti del Po, e che tornò utilissima per la bonificazione del Polesine di Rovigo fra l'Adige ed il Po. Allontanato allora da questo il Reno, sorsero i conflitti preaccennati per restituirvelo, dopo di che esso venne nello scorso secolo inalveato con parecchi altri torrenti dell' Apennino nell'antico Po di Primaro fino al mare. La Cronichetta di Ferrara del 1310 offre una preziosa descrizione idrografica del Ferrarese per quel tempo.

86. Nei primordi della romana dominazione, le paludi alla destra del Po, incominciavano presso Piacenza, e si estendevano dal contrafforte, o spalto naturale del Po, fino all'unghia dei conoidi formati dai torrenti che discendono dall'Apennino. Emilio Scauro intorno all' anno 640 di Roma, asciugò la parte superiore di quelle

paludi da Piacenza al Parmigiano in prossimità della foce dell'Enza, escavandovi un ampio canale di navigazione di cui si è cancellata la traccia. Rimasero tuttavia per una serie di secoli navigabili a valle la palude *Bondeno,* e la successiva *Padusa*.

87. Intorno al secolo VIII sotto la foce dell'Enza, in prossimità di Guastalla, il Po troncò per salto il corso dell'Oglio al luogo detto *Scorzarolo* (Accorciatoio), inalveandosi con un suo ramo a sinistra in una vasta palude detta Largione o Lirone, cosicchè venne ivi a dividersi in tre rami, il Po vecchio, la Zara, già Oglio, ed il Po Lirone, che si riuniva ancora al primo sotto Sant Benedetto.

88. Nel 1218 i Cremonesi padroni di Guastalla, permisero ai Reggiani di escavare un canale denominato *Tagliata,* onde unire la navigazione del Po alla mentovata palude Bondeno, che metteva capo al Po in un luogo detto *Burana,* cui oggidì corrisponde Bondeno ferrarese. In quella palude spagliava la Secchia ed il Crostolo con altri torrenti minori interposti, e nel 1336 la prima fu portata a sboccare in Po sotto Sant Benedetto, operazione che iniziò il bonificamento di un vasto territorio. In que' tempi non venivano difesi se non i terreni più alti, costituenti i contrafforti, o spalti naturali del Po, mediante argini di frontiera verso il fiume, ed altri argini interni verso le paludi, ove si espandevano tuttavia i rigurgiti delle piene del Po e de' suoi affluenti. Solo intorno al 1480, si compirono le arginature del Po nel Mantovano tanto alla sua destra quanto a sinistra, rendendole continue insieme a quelle de' suoi affluenti.

89. Verso la metà del secolo successivo s'inalveò anche il Crostolo, portandolo presso Guastalla a sboccare fra alti argini nel Po, dopo avere in esso rivolte le acque di altri torrenti minori, e quelle eziandio di scolo dell'alta pianura reggiana. Le acque dei territori più bassi si raccolsero in un grande colatore detto *Fiuma,* che si fece passare con bòtte sotto il Crostolo e si riunì al grande colatore Parmigiana-Moglia, ricostruendo in più generose dimensioni la chiavica di questa al Bondanello, ove attraversava l'argine sinistro della Secchia. L'estesa bonificazione che ne risultò venne chiamata *Bonificazione Bentivoglio*, dal nome del marchese Cornelio Bentivoglio, che si adoperò per mandarla ad effetto sopra un piano predisposto da Pellegrino Demicheli fattore di Ferrante Gonzaga signore di Guastalla.

90. Il vasto territorio fra la Secchia ed il Panaro, venne a migliorare di condizione colla mentovata nuova inalveazione di quella; ma in conseguenza del successivo abbandono del Po di Ferrara, essendosi nel primo tronco di questo, dalla Stellata al Bondeno, inalveato a ritroso il Panaro per metter foce nel Po di Venezia, si rialzò in notevole misura lo sbocco del grande colatore Burana con immenso pregiudizio di quel territorio che in esso scarica le sue acque.

91. Allorchè sotto il governo di Napoleone I fu decretata ed iniziata l'immissione del Reno in Po, che doveva a tal fine unirsi al Panaro presso Bondeno, per lo scarico del colatore Burana si è costrutta, e pressochè compiuta una grandiosa botte sotto il Panaro, alla quale altra doveva susseguire sotto il nuovo canale del Reno, ove sarebbe passato insieme a Burana il Canalino di Cento, per scaricarsi direttamente nel mare mediante il derelitto Po di Volano da escavarsi. Di quest'ultimo edifizio venne incominciata la sola fondazione, contrastando con enormi difficoltà, attesa la copia delle sorgenti.

92. In quanto ai terreni che costituivano la Padusa a valle del Panaro, ed a destra del Primaro, essi vennero bensì colmati colle deposizioni dei torrenti dell'Apennino, ma non completamente. Per tal modo la mentovata nuova inalveazione del Reno, incominciata un secolo in addietro dal padre Lecchi, riuscì difettosa, per essersi elevato il fondo in alcuni tratti al disopra delle campagne contigue. Si dovette perciò accompagnare con argini elevatissimi, talvolta sopra base cuorosa e poco sicura, argini che sarà mestieri rialzare ancora al fine di aggiungervi l'Idice ed altri torrenti minori tenuti in colmata. Malgrado questi difetti, e le sciagure che di tempo in tempo sono conseguenza di rotte degli argini, il partito di consolidare questi in modo di poter sorreggere un ulteriore alzamento sembra preferibile ad altri piani, per i motivi che ora accenneremo.

93. Abbiamo già notato nell' Art. VIII quali disordini sieno temibili ove dovesse immettersi il Reno nel Po; come malgrado ciò si fosse iniziato quel piano per decreto di Napoleone I, e come dopo la caduta di lui si fosse rinunziato al suo compimento. Fattosi rivivere il progetto di questo, se ne sarebbe calcolato il dispendio in 18 milioni, che verisimilmente si dovrebbe accrescere in notevole misura, alfine di scemare i pericoli cui sarebbero

in tal modo esposti estesi territori. Che se il fatto provasse che anche con tutto ciò questi avessero a soggiacere a danni considerevoli per alterato reggime del Po, egli è naturale che si dovrebbero ridurre le cose allo stato pristino, dopo avere sprecati enormi dispendj.

94. Si è pure fatta dall'ingegnere Manfredi la proposta di allacciare la Secchia ed il Panaro al Reno ed agli altri torrenti inferiori per condurli al mare, siccome rimedio radicale, ciò che in massima potrebbe ammettersi. In un primo progetto d'avviso egli ne indicava il dispendio in 40 milioni, spesa che secondo lui sarebbesi in notevole misura diminuita coll'associarvi il progetto di un grande canale di irrigazione da derivarsi dal Po presso Piacenza. Intorno a quest'ultimo ho dimostrato le enormi difficoltà cui si andrebbe incontro, difficoltà che in parte riconobbe egli pure, soggiungendo che quel progetto parziale era un semplice accessorio. Ed in quanto all'altro del fiume Apenninico, lo avrebbe di poi steso ne' suoi particolari, seguendo una linea più alta della lunghezza di 126 chilometri, ove per 100 chilometri se ne terrebbero incassate le piene. Questa circostanza dovrebbe influire ad accrescere il dispendio oltre il limite suindicato, ciò che non dice, non avendo egli pubblicato il nuovo progetto. Si ha quindi motivo di credere che, mediante una dotazione straordinaria per dieci o dodici anni equivalente agli interessi della spesa occorrente per l'immissione del Reno in Po, o ad una metà di quelli del dispendio richiesto pel nuovo fiume Apenninico, si potrebbe consolidare l'attuale inalveazione del Reno, ed eziandio quella del Panaro e della Secchia in guisa di provvedere sufficientemente alla difesa territoriale, senza alterare un ordine di cose già esistente. Per tal modo, mentre si eviterebbero serie complicazioni, gli occorrevoli dispendi si ripartirebbero in guisa di riuscire comportabili nelle estreme angustie delle nostre finanze (2).

(2) Veggansi le Memorie citate nella precedente nota al § 78; ed inoltre quella *sulla pianura subapennina*, e particolarmente le Note finali A ed H di essa, e specialmente la parte che concerne il colatore Burana, come pure le mie *Risposte* agli appunti sulla Memoria concernente l'estuario adriatico, nel Politecnico del 1869, e nel Vol XI delle Memorie del R. Istituto Lombardo.

Art. XI. — **Origine della scienza idraulica.**

95. Dal secolo XII al XV nell'Alta Italia, e specialmente nella Lombardia, si sono eseguite per l'utilizzazione delle acque e per la difesa dalle loro irruzioni opere idrauliche di tale grandiosità che anche oggidì sono oggetto della generale ammirazione. Il solo empirismo guidato da un particolare tatto pratico risultante dall'esperienza, aveva servito di norma per quei lavori, senza che si conoscessero le leggi concernenti i fenomeni delle acque correnti, le quali costituiscono la scienza idraulica.

96. Sul cadere di quest'ultimo secolo era riservato al genio incomparabile di Leonardo da Vinci l'inventare quella scienza, attenendosi al metodo sperimentale, nel proclamare ed applicare il quale, indicandone le regole, precedette di oltre un secolo Bacone e Galileo. Le sue dottrine, che risguardano eziandio la meccanica, l'ottica e la geologia, venivano esposte ne' copiosi suoi autografi con concetti staccati, e tali da potersi difficilmente decifrare, in quanto che egli soleva esporli scrivendo da destra a sinistra.

97. Sembra che gran parte di questi studi li abbia fatti in Milano, ove si pose al servizio di Lodovico Sforza detto il Moro, stretta in pari tempo amicizia colla doviziosa famiglia dei Melzi di Vaprio. Al giovine Francesco Melzi, suo discepolo nella pittura, egli lasciò la più parte de' suoi autografi, che da questo vennero custoditi colla massima venerazione. Ma altrettanto non fecero i figli ed i nipoti del suo erede, i quali ignorando il merito di tali tesori, li lasciarono disperdere.

98. Il conte Galezzo Arconati, ammiratore di quel genio straordinario, raccolse con ogni cura e con ingenti sacrifici gran parte di quegli autografi, e rifiutando somme ragguardevoli che gli si erano offerte da sovrani per acquistarli, ne fece generosamente dono nel 1637 alla biblioteca Ambrosiana fondata sul principiare di quel secolo dall'arcivescovo di Milano cardinale Federico Borromeo. Essi consistevano in 14 volumi, il principale de' quali era il così detto *Codice Atlantico.* Alla venuta dei francesi nel 1796 fu spogliata l'Ambrosiana di quei preziosi autografi per arricchirne inutilmente la biblioteca Nazionale di Parigi; d'onde non fu dato di

ricuperare se non il precitato Codice Atlantico, malgrado tutte le sollecitudini per riavere anche gli altri volumi a termini di quanto erasi pattuito nel 1815 coll'Atto generale del Congresso di Vienna.

99. I cardinali Francesco ed Antonio Barberini, nipoti del regnante pontefice Urbano VIII, eressero in Roma un insigne biblioteca ad imitazione dell'Ambrosiana allora fondata. Il bibliotecario di essa Manzi, nel Trattato della Pittura di Leonardo da Vinci, da lui pubblicato in Roma l' anno 1817, osservò che « ivi conservasi sotto il numero 3457 un nitido manoscritto copiato dagli originali di Lionardo con questo titolo: *Del moto e della misura delle acque.* E vi è in fine questa Nota: *Questi sono nove libri del moto e della misura delle acque di Lionardo da Vinci, da diversi suoi manoscritti raccolti ed ordinati da Frà Luigi Maria Arconati Domenicano Maestro di Teologia,* 1643 ». Quel manoscritto venne pubblicato per la prima volta nel 1828 a Bologna al termine del Vol. X della Raccolta degli autori idraulici italiani.

100. Conviene quindi supporre che i cardinali Barberini, attesa la difficoltà di arricchire la loro biblioteca degli autografi di Leonardo, si adoprassero per raccoglierne degli estratti ordinati, quale si è appunto quello del frate Arconati, forse fratello del conte Galeazzo che, come dicemmo, ne possedeva gran parte, lavoro immenso, ove si consideri la difficoltà di leggere quegli autografi, di consultare quelli che mancavano in tale Raccolta, e di coordinare metodicamente i concetti staccati che vi sono esposti. Quel Trattato difatti è costituito da nove libri contenenti 567 proposizioni, che vengono illustrate da 51 tavole ove sono disegnate 219 figure.

101. Essendo pressochè impossibile di porgere un analisi di quel trattato, mi limiterò a dare un indice delle cose più notevoli che contiene.

Nel lib. I. — Definizione de' nomi più usitati nella materia delle acque; cap. 1.

Formazione degli stagni, lagune, dune e porti presso le foci dei fiumi in mare; cap. 32.

Origine delle piogge per l' evaporazione del mare, dei laghi, e degli stagni. — Alimento che porgono ai fiumi. — Aumento delle piogge negli strati inferiori dell'atmosfera, e talvolta disperdimento di esse; cap. 40, 44 e 45.

Nel lib. II. — Velocità dell'acqua maggiore in distanza dall'argine (ossia sponda); cap. 18, 23 e 32.

Accelerazione delle acque correnti per effetto della gravità, e loro rallentamento per le resistenze dell'alveo; cap. 21, 23 e 31; quindi principio del moto equabile.

Velocità maggiore colla maggior pendenza; cap. 27, 53 e 54.

Velocità maggiore alla superficie che al fondo per effetto della resistenza di questo; cap. 33, 34, 37, 40 e 41.

Modificazioni di velocità cagionate dai venti; cap. 38.

Descrizione dell'asta galleggiante intesa ad indicare se la velocità sia maggiore in superficie, oppure al basso; cap. 42.

Principio del moto permanente delle acque ne' fiumi; velocità in ragione reciproca della superficie delle sezioni; cap. 50, 51, 52.

Vi si dà maggior sviluppo nel lib. VIII.

A pari larghezza, e pendenza, maggior velocità nel fiume più profondo in causa della minor resistenza del letto; cap. 58.

Distanze delle briccole del filone, maggiore quanto minore è la curvatura della svolta o concavità; cap. 66.

Influenza delle tortuosità ad allentare il corso de' fiumi; cap. 82.

Nel lib. III. — Moto ondoso delle acque, contenente bellissime riflessioni.

Nel lib. IV. — Ritrosi e vortici.

Nel lib. V. — Acqua cadente.

Nel lib. VI. — Rotture fatte dalle acque, ossia escavazioni e corrosioni; confluenze, moti trasversali in acque magre che scompajono nelle piene; cap. 19 e 26.

Forza escavatrice che si accresce col ristringere la sezione del fiume; càp. 7 e 46.

Raddrizzamenti di fiumi serpeggianti; difesa delle sponde dalle corrosioni mediante gabbioni formati di fascine e ghiaja; cap. 58.

Regole per colmare le paludi colle acque torbide dei torrenti; cap. 63.

Nel lib. VII. — Deposizioni de' fiumi, effetti dei diboscamenti dei monti; cap. 21.

Nel lib. VIII. — Enumerazione di sedici casi che per variate circostanze influiscono sulla erogazione di una bocca; cap. 16.

Efflussi proporzionali al peso della colonna premente, ossia alla sua altezza; cap. 17.

Per lo stesso principio, velocità negli alvei proporzionali alle altezze della corrente; cap. 19 e 21.

Efflussi delle bocche proporzionali all'altezza del battente; cap. 25.

Principio del moto permanente delle acque di cui si dà una dimostrazione; cap. 39, 40 e 41.

Nel lib. IX. — Descrizione di molini ed altri ordigni idraulici.

102. Da questi pochi cenni scorgesi che la Raccolta degli scritti di Leonardo costituisce niente meno che un Trattato completo d'idraulica, ove un secolo avanti a Galileo egli ha sviluppato la dottrina del moto accelerato nella caduta dei gravi; il principio del moto permanente delle acque negli alvei, e quello del moto equabile, esposto due secoli dopo dal Guglielmini, e svolto un secolo più avanti da Dubuat. E con tutto ciò si è sempre considerato il Castelli siccome il vero inventore dell'idraulica, per avere il primo dimostrato che nella misura delle acque correnti devesi calcolare la loro velocità.

103. Nell' esame critico per altro che ho istituito degli scritti di questo, ho fatto conoscere come le sue proposizioni e per l'essenza loro, ed anche pei termini coi quali sono espresse, appajono ricavate da quelle di Leonardo; come il primo parli di esperienze da lui istituite onde dedurle, esperienze delle quali non porge indicazione di sorta, e che ove si fossero da lui praticate avrebbero offerto risultamenti discordanti dalle regole da lui esposte. Si è pure notato come nelle quistioni per la rimozione dei fiumi dalla laguna veneta, del Reno dalle valli alla destra del Po; della diversione di Fiume Morto dal Serchio; e della misura e distribuzione delle acque irrigue, il Castelli sia partito da principj erronei, che pel prestigio della fama da lui acquistata vennero talora seguiti da distinti idraulici con sommo detrimento della scienza.

104. Attesa poi la circostanza che il Castelli dopo il 1625 per diciott'anni fu al servizio del pontefice Urbano VIII Barberini, e che contemporaneamente venne compilato dal frate Arconati il Trattato surriferito, rimasto sepolto per due secoli nella biblioteca Barberini, si è conchiuso che vi sarebbe tanto più motivo di credere che il Castelli non ignorasse il contenuto degli autografi di Leonardo, da cui quel Trattato fu ricavato, e che abbia spacciate siccome proprie le dottrine di questo.

105. Del resto ho notato come in Lombardia quaranta o cinquanta anni avanti alla pubblicazione del Trattato del Castelli si sapesse applicare l'elemento della velocità nella misura delle acque correnti, inventando i moduli per la misura e la distribuzione delle acque irrigue, e come ivi in tale periodo fossero surti ingegneri distintissimi nell' idraulica pratica, lo che attribuii all' avere essi potuto consultare alcuni scritti di Leonardo che in quel tempo erano andati dispersi. (1).

Art. XII. — **Successivi progressi della scienza idraulica.**

106. Contemporaneo del Castelli, Evangelista Torricelli, egualmente allievo di Galileo, con un tratto di genio che rivela l' inventore del barometro, dall' osservazione dei getti verticali ne' quali verificasi il moto uniformemente ritardato, razionalmente dedusse la mirabile legge che la velocità degli efflussi è proporzionale, non all' altezza della colonna premente, come supponevano Leonardo ed il Castelli, ma alla sua radice quadra, ed eguale a quella acquistata da un grave cadente dalla stessa altezza. Mariotte confermò tal legge con una serie di esperienze, ed il padre Milliet de Chales, emise l' opinione che essa avesse a valere anche per le acque correnti negli alvei, ove le velocità dovrebbero pure essere proporzionali alla radice delle altezze.

107. Il medico modenese Bernardino Ramazzini pubblicò nel 1691 la bellissima sua Memoria *sui pozzi modenesi*, ove dà ragguaglio delle esperienze da lui istituite onde indagare come si compia il fenomeno di quelle fonti saglienti. Con tali sperimenti avrebbe pel primo provato che la pressione laterale delle acque ne' tubi scema allorchè queste sono in movimento. Daniele Bernoulli, Venturi e Weisbach, avrebbero successivamente dimostrato in modo analogo che la pressione laterale nei tubi e nei vasi scema colla velocità delle acque al punto di divenire eziandio negativa col concorso della pressione atmosferica, deducendo dalle esperienze la legge in ciò seguita dalla natura, che venne rappresentata con apposite formole.

(1) Veggasi la mia Memoria del 1860, *Dell' origine e del progresso della scienza idraulica* ecc.

108. Il medico bolognese Gian Domenico Guglielmini erasi particolarmente dedicato anche alle matematiche, all' astronomia ed all' idrometria. Nominato nel 1686 intendente generale delle acque del Bolognese, esordì col pubblicare nel 1691 il suo Trattato *Aquarum fluentium mensura,* ove sviluppa i principj dell' idrometria in forma alquanto speculativa. Ne' conflitti insorti circa alla regolazione delle acque nelle provincie di Bologna, Ferrara e Romagna, vennero delegati nel 1693 dal pontefice Innocenzo XII, i cardinali d'Adda e Barberini onde visitare i luoghi, ed il Guglielmini per l' interesse dei Bolognesi fu incaricato di assistervi, prendendo di poi in esame in una serie di scritture allora stampate i varj partiti a tal uopo proposti.

109. Istituitasi in pari tempo nell' Università di Bologna la cattedra d' idrometria, ne venne affidato l'insegnamento al Guglielmini, circostanza che lo spinse ad addentrarsi sempre più nello studio della fisica de' fiumi. A tal fine gli si offrì un vasto campo alle sue induzioni ne' fenomeni che accompagnarono i cangiamenti avvenuti nel corso del Po per l' ultimo suo tronco, e nel colmamento dell' antica Padusa per opera dei torrenti dell' Apennino. Frutto di siffatti studi si fu il libro *Della Natura de' Fiumi,* pubblicato per la prima volta nel 1697, il quale segna l' epoca iu cui l' idraulica italiana è stata fondata sopra principj veramente positivi.

110. Già da due secoli, come vedemmo, Leonardo da Vinci aveva creata la scienza, seguendo lo stesso metodo di osservare i fatti e d'interrogare la natura cogli esperimenti; ma se se ne eccettui il principio fondamentale del moto permanente delle acque, appropriatosi, a quanto sembra, dal Castelli, tutta la parte del Trattato concernente la fisica dei fiumi era ignorata, perchè esposta nei suoi autografi in una forma difficile a decifrarsi ed in concetti staccati, e perchè il manoscritto dell'Arconati, mercè il quale poteva rendersi accessibile alla comune intelligenza, rimaneva, come si disse, sepolto nella biblioteca Barberini. Il Guglielmini dovette quindi in generale tornare da capo, prendendo a considerare il moto delle acque correnti, non più sotto un punto di vista puramente astratto, ma in relazione alle resistenze che incontrano; alle materie che trasportano; ed agli effetti che ne derivano nella formazione degli alvei de' fiumi, e nelle successive modificazioni di essi per escavazione o per deposizione di tali materie. Maravigliato

il Fontenelle dell' evidenza e chiarezza con cui è esposta quella dottrina del tutto nuova, ebbe a dire ben a ragione, che mentre i fisici presumevano di conoscere anteriormente a sufficienza la natura de' fiumi, dopo la lettura di quel libro dovettero convincersi che punto non l' intendevano.

111. Eustachio Manfredi, che lo illustrò con una serie di annotazioni, dichiara che quantunque « nella parte idrometrica abbia la dottrina dell' autore corsa la sorte di tutte le altre di argomento misto di fisico e di matematico, cioè di non essere ricevuta che in grado di probabilità (il che nasce dal non aversi per anco una intera evidenza, ma solo qualche conghiettura intorno alle vere regole della velocità de' fiumi) tuttavia il suo sistema degli alvei in 40 anni da che uscì alla luce, non ha trovato chi si avvisi di rivocarne in dubbio i principj ». Altri centotrent'anni trascorsero di poi, e lungi dal venir meno il pregio in che tenevasi quel libro, si è immensamente accresciuto, dacchè l' esperienza ebbe a dimostrare la giustezza di quei principj, che costituiscono la base della sua dottrina, malgrado le opposizioni che incontrarono, particolarmente in quanto concerne lo stabilimento del fondo de' fiumi. Che anzi anche la parte idrometrica, intorno alla quale sursero dubbj allo stesso suo commentatore, avrebbe in generale, per l' egual motivo, avvantaggiato come vedremo in appresso.

112. Creata ne' tempi del Guglielmini l' analisi matematica sublime, gli immensi progressi che mercè questo potente mezzo fece la meccanica speculativa ed anche quella celeste, indussero i geometri ad applicarla all' idrodinamica. Avendo per altro dimostrato il fatto la somma difficoltà di giungere così a risultamenti adoperabili negli usi pratici, si riconobbe preferibile il partito di ricorrere a metodi sperimentali, valendosi del calcolo onde coordinare le osservazioni e costruire le formole empiriche che se ne deducevano (1).

113. Per gli efflussi da pertugi, da regolatori e dagli stramazzi, si verificò appunto sussistere sempre la legge Torricelliana con coefficienti di riduzione ricavati dall'esperienza, siccome appare da quelle di Michelotti (2); di Bossut (3), di Bidone (4), di Poncelet

(1) Veggasi la Memoria precitata *Sull' origine e progresso della scienza idraulica.*
(2) Michelotti, *Sperimenti idraulici* ecc. Torino 1767.
(3) Bossut, *Traité théorique et expérimental d' hydrodinamique,* Paris 1796.
(4) Bidone, *Memorie dell' Accademia di Torino.*

e Lesbros, e di Lesbros solo (5), di Boileau (6), di Francis in America (7), e di Weisbach (8). In quanto poi alle acque correnti ne' canali e negli alvei de' fiumi, intorno al 1780 sorse la dottrina del moto equabile, iniziata da Dubuat (9), e perfezionata da Prony, la quale anche oggidì è quella che meglio si addatta alle pratiche applicazioni, malgrado all' essersi di poi portata a maggiore generalità con quella del moto permanente (10).

114. Osservò Dubuat che all' uscire l' acqua da una conserva o lago per passare in un canale inclinato, il moto iniziale in questo è promosso da una specie di carico, ossia cateratta che formasi alla sua imboccatura. Le acque, discendendo pel declivio del canale, vanno mano mano accelerandosi; ma in pari tempo va accrescendosi la resistenza che provano contro le pareti dell' alveo, giungendosi ad un punto ove, equilibrata la forza acceleratrice colle resistenze, ne risulta l' equabilità del moto giusta i principj della caduta de' gravi in un mezzo resistente.

115. Giovandosi Dubuat di esperimenti da lui praticati mediante canaletti artefatti; sopra un canale di scolo; e sopra il fiume Hayne, compose una formola idrometrica pel calcolo delle portate, formola che venne semplificata da Girard e perfezionata da Prony, colla quale, data la misura e forma della sezione trasversale della corrente e la pendenza del pelo d'acqua, se ne determina la velocità media. Prony poi, altra formola aggiunse per determinare quest' ultima in funzione della velocità massima superficiale nel filone, che è agevole misurare mediante galleggianti. Siccome per altro la prima di esse formole erasi ricavata da dati d' esperienze eseguite in generale con piccoli canali, Eytelwein la riformò ne' suoi

(5) *Expériences hydrauliques sur les lois de l'écoulement de l'eau* ecc., par MM. Poncelet et Lesbros, Paris 1832. — *Hydraulique expérimentale à l'usage des ingénieurs* par Lesbros. *Prix de mécanique de* 1850, Paris, Dalmont.

(6) Boileau, *Traité de la mesure des eaux courantes*, Paris 1854.

(7) *Lowell hydraulic experiments being a selection from experiments made at Lowell* (*Massachusetts*) by James B. Francis, Boston 1855.

Veggasi la bella analisi che ne fa il Colombani nel *Giornale dell' Ingegnere-Architetto* del 1858.

(8) Weisbach, *Die experimental hydraulik*, Freiberg 1855.

(9) Dubuat, *Principes d'hydraulique*, Paris 1786.

(10) Prony, *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*, Paris 1804.

coefficienti, giovandosi di altre 60 esperienze, gran parte delle quali praticate sopra fiumi della Germania, formola che generalmente venne adottata dagli idraulici. Semplificata questa pei casi più comuni ai fiumi, venne spacciata dal Tadini siccome un nuovo cánone dedotto da esperimenti *sopra sessanta e più correnti,* dei quali per altro non porge alcuna indicazione (11). Il professore Turazza poi con molto accorgimento ne ricavò tre formole, la prima per velocità inferiori ad un metro; la seconda per quelle fra uno e due metri, e la terza per quelle superiori a due metri, formole che al confronto dell' osservazione danno divarj assai minori di quelli risultanti dalla formola di Eytelwein (12).

116. L' ingegnere Darcy, che erasi occupato di esperienze sulla portata dei tubi di condotta anche di grandi dimensioni, tenendo a calcolo il grado di levigatezza delle loro pareti (13), estese i suoi studi ad altre sui canali scoperti, giovandosi della cooperazione del distinto ingegnere Baumgarten, che ne intraprese una serie sul canale di Marsiglia derivato dalla Durance. A tal uopo si scelsero diversi tronchi di esso che presentassero nel fondo e nelle sponde superficie più o meno liscie o scabre e quindi un differente grado di resistenza al moto delle acque. Venuto a morte il Darcy, le esperienze sonosi continuate dal suo collaboratore Bazin, che con particolare maestria compose quattro formole appropriate a quattro classi d' alvei di pareti più o meno resistenti. Egli comprese in tali esperienze anche quelle da ultimo eseguite sopra fiumi della Francia, oltre alle altre delle quali si valsero i suoi predecessori. Il confronto dell'applicazione delle nuove formole colle osservazioni dimostrò per la generalità dei casi l' erronèità di quella di Eytelwein, particolarmente quando le pareti di un canale sono liscie, ed anche quando sono di terra, scorgendosi un notevole difetto nel primo caso, ed un eccesso nel secondo. Nel solo supposto della corrente di un fiume naturale di mediocre portata si ha la coincidenza nei risultamenti delle due formole, i quali

(11) Memoria precitata *Sull' origine e progresso della scienza idraulica*, § 122.

(12) *Nuova determinazione delle costanti relative alla resistenza d'attrito nel movimento dell' acqua* ecc., *Memorie dell' I. R. Istituto Veneto delle scienze* ecc., Volume III, 1846.

(13) Darcy, *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux,* Paris 1857.

divergono in più od in meno per fiumi o canali minori, o per fiumi maggiori. Anche per la determinazione della velocità media in funzione della massima superficiale, il Bazin offre una formola che modifica quella di Prony, con differenze meno pronunziate in relazione alla varia natura delle pareti dell'alveo (14).

117. Mentre questi studi compievansi in Francia, altri se ne facevano al di là dell' Oceano in una scala più imponente ancora. Gli Stati Uniti dell'America del Nord nel 1850 avevano ordinati studj onde stabilire il modo di proteggere la pianura alluviale del Mississippi dalle inondazioni. Il capitano Humphreys ebbe la parte principale nelle relative proposte e nel successivo intraprendimento dei rilievi idrografici associati ai topografici; ma colpito nell'estate del 1851 da grave malattia, si sospesero i lavori. Questi non furono ripigliati se non nel 1857, e compiuti nell'estate del 1861 sotto la principale direzione dello stesso capitano Humphreys associato al luogotenente Abbot. I risultamenti di tali studi vennero esposti da questi in una magnifica monografia di quel fiume gigante che è un vero monumento scientifico, sotto il titolo: *Report upon the Physics and the Hydraulics of the Mississippi River etc.* (15).

118. Riservandoci a porgere più innanzi qualche cenno della parte statistica di quel lavoro e delle proposte in esso contenute rispetto alla difesa territoriale, ci limiteremo ora a darlo della parte idrometrica. Le misure dirette delle velocità superficiali e subacquee vennero eseguite sopra 93 sezioni del Mississippi e sopra 72 dei suoi affluenti, e da esse si è ricavato che, tanto le velocità superficiali di una data sezione, quanto la serie di quelle di una verticale, vengono rappresentate da curve paraboliche. In quest' ultimo caso, in istato di calma, le velocità vanno crescendo in tenue misura della superficie sino a circa 0, 30 della profondità, e di poi scemando fino al fondo. L'asse della curva cui corrisponde la massima velocità è mobile ove spiri vento, rialzandosi, oppure abbassandosi a norma della direzione di questo, piuttosto a seconda

(14) Darcy et Bazin, *Recherches hydrauliques sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts*, Paris 1865.

Veggansi rispetto alle formole proposte in quell' opera, due interessanti articoli del Professore Francesco Brioschi nei fascicoli di febbrajo e maggio 1866 del *Politecnico*, sotto il titolo: *Di alcuni recenti progressi pratici nell' idraulica.*

(15) Filadelfia, 1861. Quest' opera pregevolissima non venne posta in commercio.

della corrente che contro di essa. In istato di piena del fiume, quell'asse discende a 0, 35, ed in istato di magra si eleva a 0, 15 della profondità.

119. La minore velocità in superficie fu dagli autori considerata siccome effetto di perturbazioni ripetibili da correnti di sotto in sù, cagionate dalle irregolarità del fondo, perturbazioni equivalenti ad una resistenza in superficie analoga a quella del fondo stesso. La circostanza di essere tali perturbazioni maggiori alla superficie che non al disotto di essa, la spiegano coll'esempio della trasmissione di moto sopra una serie di palle d'avorio contigue; e meglio ancora con quello della collisione di due convogli di ferrovia, ove i carri maggiormente danneggiati sono ai loro estremi, anzichè nel mezzo. Rilevarono pure che la velocità corrispondente alla mezza profondità di una verticale, e la media velocità di questa stanno fra loro in un rapporto sensibilmente costante. Colla serie dei criterj desunti dalle praticate osservazioni, essi giunsero a comporre una nuova formola algebrica ove, come in quella di Prony, la velocità media si ha dalla pendenza, dalla superficie della sezione, e dall'intero suo contorno, in luogo di quello puramente bagnato. Questa formola si riscontrò corrispondere con notevole approssimazione alle osservazioni fatte sul Mississippi, e su piccole correnti, come sono quelle del Bajou La Fourche, e di un alimentatore del canale dalla Chesapeak all'Ohio, ed alle esperienze ben anche di Boileau sopra un canale artificiale.

120. Quest'ultimo pure aveva scorta l'aumentata velocità al disotto della superficie, osservazione che non era sfuggita allo stesso Bazin, il quale ignorava gli studi dei distinti idraulici americani. Io supposi che quell'aumento di velocità sotto la superficie potesse dipendere dalla pressione degli strati superiori sopra gli inferiori, giusta la legge parabolica del Guglielmini, promovendo essa un aumento di velocità in tenue misura al confronto di quella effettiva, in quanto che questa doveva diminuire la pressione. Ma a tale induzione si opporrebbe il fatto che nel caso di velocità effettive moderate è alquanto più spianata la curva che non sia quando le prime sono più notevoli. D'altronde l'esperienza prova bensì la diminuzione della pressione laterale coll'aumentarsi della velocità nelle acque che muovonsi nei tubi; ma non se ne conoscono che provino tale diminuzione di pressione nei canali aperti. Gli autori

pongono poi a confronto la loro formola con quelle anteriormente proposte, e dimostrano come essa corrisponda assai meglio alle osservazioni (16).

121. L'ingegnere Fourniè in una recente Memoria istituisce una estesa analisi dell'opera degli idraulici americani per la parte idrometrica, ponendo di poi a confronto la loro formola con quelle di Bazin (17). Egli nota che quest'ultime collimavano precisamente anche colle misure fatte recentemente sotto Verdun sulla Mosa; ma che, paragonate alla nuova formola di quegli ingegneri, offrirebbe un divario considerevole. La minore velocità alla superficie l'attribuirebbe anche Bazin a perturbazioni tumultuose osservate non solo da lui col tubo di Pitot perfezionato dal Darcy, nell'indagare la distribuzione delle velocità nelle varie parti di una corrente, ma benanche da Baumgarten col molinello di Woltmann sulla Garonna, e conchiude: (pag. 30) *La question se complique et s'obscurcit davantage à mesure que des nouvelles expériences plus précises paraîtraient devoir y jetter une plus grande lumière. Que conclure de ces résultats si divers et en apparence contradictoires, si ce n'est que nous ne possédons pas encore de notions saines sur les mouvements intérieurs des fluides et sur les actions mutuelles de leurs molécules? Peut-être cette partie si délicate de la science doit-elle rester longtemps encore dans le domaine de l'empirisme.*

122. L'ingegnere Fourniè termina la sua Memoria con queste osservazioni: *Lorsque des expériences, qu'il est indispensable de faire avec suite, auront établi la loi du frottement des liquides sur les solides, il sera temps de revenir à la résistance qui se produit à la surface, résistance comparable à celles qui ont lieu sur le fond*

(16) Veggasi la bellissima Relazione che intorno a quest'opera ha fatto il chiarissimo Professore Angelo Messedaglia all'Istituto Veneto delle Scienze, inserita nel T. VIII, 1863, de' suoi Atti, riprodotta dal *Giornale dell' Ingegnere-Architetto* dell'anno stesso. Mentre era in corso di stampa questo scritto, il capitano Abbot m'inviava in dono da Washington una interessante sua Nota ora pubblicata, ove ripiglia in esame le formole preaccennate, e dopo avere in esse introdotte alcune modificazioni, ne pone a confronto i risultamenti con quelli delle altre di Bazin, e delle anteriori. Il professore Brioschi si riserva di dare ragguaglio nel *Politecnico* di questo nuovo lavoro. Pressochè contemporaneamente il generale Humphreys, attuale capo del Genio militare degli Stati Uniti d'America, inviava in dono al R. Istituto Tecnico Superiore in Milano un esemplare del pregevolissimo Rapporto precitato del 1863.

(17) Fournié, *Résumé des expériences hydrauliques exécutées par le Gouvernement américain sur le Mississippi ecc.*, Paris 1867.

et les berges. L'hypothèse à la quelle sont arrivés les ingénieurs du Mississippi n'a rien d'inacceptable; mais il est nécessaire de préciser la nature de cette résistance, de savoir si elle se révèle et si elle consiste même, comme le pense M. Bazin, en mouvements tourbillonnants qui donnent lieu à une perte de force vive translatoire. Dans l'étude critique qui précède, nous n'avons dû nous permettre aucune vue hasardée. En ces matières, et en presence d'une aussi profonde ignorance du fond de la question toute hypothèse est dangereuse et il faut recourir à l'expérience. Les principes posés par Dubuat et développés par Prony sont renversés par les études ultérieures: cela devait être. Mais les méthodes de ces grands hommes demeurent debout, et ainsi la tâche des nouveau-venus sera plus facile. Il est necessaire toutefois que la voie soit déblayée, et que l'enseignement de l'hydraulique cesse de l'attarder dans des énonciations erronées qui entravent tout progrès. Il faut que les jeunes ingénieurs apprennent que nous ne savons rien sur l'hydraulique des cours d'eau, sinon que l'application des formules usuelles conduit à des résultats reconnus faux et que ces formules elles-mêmes n'ont aucun fondement. Ce n'est pas en vain qu'auront été accumulées les belles et patientes recherches des ingénieurs depuis le début du siècle, et en dernier lieu, des Darcy, des Dupuit, des Bazin, des Humphreys et Abbot, si elles suscitent des expérience nouvelles et directes sur cette branche neuve de la physique.

123. Malgrado questa conclusione, in vero poco confortante, conviene però ammettere che le formole di Bazin applicate a canali artificiali con pareti di vario grado di resistenza, ed anche a fiumi di portata moderata, porgono risultamenti assai prossimi a quelli dell'esperienza. Altrettanto deve dirsi per la formola di Humphreys ed Abbot rispetto al Mississippi, cosicchè non havvi a dubitare sulla sua applicabilità ad altri grandi fiumi. E le prime, e l'altra devono perciò considerarsi siccome un vero avanzamento della scienza sperimentale, che mediante siffatti studj ci ha rivelato leggi di sommo interesse sulla distribuzione delle velocità in una corrente, e sui reciproci loro rapporti; ed in pari tempo ove debbansi dirigere le indagini onde scoprire quanto su questo particolare rimane tuttavia nel mistero.

124. Premessi questi cenni sugli ultimi progressi della idrometria sperimentale, passeremo a parlare di alcuni fenomeni che si appale-

sano nelle acque correnti e particolarmente nei fiumi. Al § 9 della mia Memoria precitata del 1852, *Dei cangiamenti cui soggiacque l'idraulica condizione del Po* ecc., riportai nella nota (31) alcune osservazioni da me fatte sul Naviglio Pallavicino, derivato dall'Oglio, che limpidissimo scorre nelle antiche fosse fortificatorie di Soncino, ove alla porta Sant Martino i due archi d' un vecchio ponte ne ristringono la sezione. Le acque di quel canale trasportavano una quantità di foglie, alcune delle quali galleggiavano alla superficie, ed altre a qualche profondità. A quindici o venti metri di distanza dal ponte le foglie galleggianti in superficie lasciavano dietro di sè quelle sommerse; a quattro o cinque metri discendevano con pari velocità; ma giunte al ponte, ove cominciava la rapida del pelo d' acqua, le inferiori precedevano le superiori.

125. Ne consegue che a cagione di quell'impedimento del ponte, ammorzata in parte la velocità acquisita per la pendenza del canale, giusta il principio del moto equabile, subentrava il moto parabolico sotto l'azione di un carico, ossia battente, con aumento progressivo di velocità dalla superficie al fondo. Nella Nota finale (I) alla mia Memoria del 1858 sulle inondazioni della Francia feci osservare come in conseguenza di tal legge convenga astenersi dal costruire platee ai ponti, e piuttosto rafforzare le fondazioni dei loro sostegni, permettendo così che fra di essi si escavi un gorgo, che riuscirà fondo morto in magra, ma sezione viva in piena, la quale influirà a scemare il ringorgo di questa. Aggiunsi in nota che con tale partito si potrebbe scemare l'elevazione delle piene dell'Arno nell' interno di Firenze, sopprimendo le platee de' ponti che lo attraversano.

126. Nella mia Notizia sulla piena autunnale del 1855 de' fiumi della Lombardia, ho notato che, tanto a Sermide, quanto alle Quatrelle, la piena del Po dell' 8 novembre 1839 si era alzata $8^m,70$ sulla massima magra, quindi senza traccia di convergenza verso la foce, che solo si avrebbe sotto Pontelagoscuro. La piena stessa invece sarebbesi superiormente alzata sulla magra $9^m,55$, ad Ostiglia, distante da Sermide, ossia dall'idrometro del Chiavicone della Moglia, 19 chilometri; e $9^m,87$ a Serravalle posta 1600^m a monte, vertice di quella serpentina. Al disotto di questa vi ha la svolta di Melara, e di poi la serpentina di Carbonara, cosicchè in sei punti la corrente sarebbe stata impedita da altrettante conca-

vità. L'effetto della forza centrifuga, e della perdita di forza viva nella corrente in tali svolte, avrebbe così cagionato un ringorgo di piena di $1^m,17$ sulla sviluppata di circa venti chilometri. Se con esatta livellazione si fosse rilevato in quel tratto il profilo del pelo d'acqua, ne sarebbe sicuramente risultato una specie di gradinata, con pendenze tenuissime, e forse con-contropendenze, a monte del vertice di ogni svolta, ossia concavità, come venne rilevato dal Baumgarten in occasione di una piena della Garonna, e con una rapida successiva. Ed è verisimile che se sopra ciascheduna di queste concavità si fossero misurate le velocità alle varie profondità, sarebbero andate crescendo dalla superficie al fondo, con una curva parabolica, analogamente a quanto si ebbe a scorgere al ponte di Soncino. Ciò concorderebbe colla legge di Guglielmini, il quale in sezioni libere attribuisce la velocità alla pendenza dell'alveo; ma qualora sieno impedite per minorazione di cadente, negli strati inferiori la fa dipendere dalla pressione dei superiori. Ove poi l'impedimento fosse tale da annientare la velocità superficiale, siccome avverrebbe coll'applicazione di un regolatore, alla pressione stessa egli attribuirebbe la velocità dell'acqua crescente dalla superficie al fondo con curva parabolica.

127. Lo stesso Guglielmini dice che, a pari larghezza, coll'accrescersi l'altezza delle acque, le portate crescono in ragione composta delle altezze, e della dimezzata delle altezze (*Nat. de' fiumi* cap. X) quindi giusta la legge Torricelliana, che finora si è seguita nella pratica siccome prossimamente conforme all'osservazione.

128. È ammesso generalmente che in tempo di piena il profilo trasversale del pelo d'acqua d'un fiume presenti un gonfiamento in corrispondenza al filone, fenomeno che ammetteva pure il Guglielmini, quantunque non indichi di averlo verificato con osservazioni. Egli lo attribuirebbe alla circostanza che « essendo ivi « la corrente più veloce, ogni impedimento che trovi, per piccolo « che sia, le toglie molto dell'impeto antecedente; e perciò bisogna « che l'acqua si elevi più in detto luogo che negli altri ». (Ivi, cap. VII). Questa spiegazione collimerebbe così con quella che gli ingegneri del Mississippi avrebbero dato alla diminuzione di velocità alla superficie d'una corrente, chiamata da essi resistenza, partendo però da principj diversi. Baumgarten tentò di misurare quel rigonfiamento delle acque sul filone in una sezione trasversale della

Garonna, e trovò che era di $0^m,112$ al confronto del pelo d'acqua alla riva destra, e di $0^m,025$, rispetto alla sinistra. Ma tale osservazione l'ha fatta in uno stato ordinario del fiume, ed è naturale il supporre che in piena quel rigonfiamento sarebbe assai maggiore (18).

129. Avendo io assistito a sei piene notevoli del Po nella provincia cremonese, partendo dallo stadio di crescenza, ho sempre osservato che la posizione del filone principale era segnata da una striscia di spume bianchiccie discese dai torrenti dell'Apennino. Altri corpi galleggianti seguivano pure la linea del filone, cosicchè era dato di scorgere i cangiamenti, che avvenivano nella sua direzione. Il Guglielmini alla regola VIII del Capitolo V della *Natura dei fiumi* dice che colla progressiva discesa della corrente, attesa la viscosità dell'acqua, i filamenti maggiormente veloci comunicano una parte della loro velocità a quelli più tardi; cosicchè sulla superficie delle acque questi dovrebbero in qualche modo essere trascinati dagli altri. Lo che collimerebbe col fatto di vedersi i galleggianti trasportati sulla corrente principale del filone. Quanto sia l'influenza della viscosità delle acque sopra tali comunicazioni di moto, lo si vede nella così detta macchina funicolare di Verra, colla quale, facendosi muovere con grande velocità una corda continua sulla superficie dell'acqua, questa viene trascinata e sollevata da quella fino a versarsi in un recipiente ad un'altezza sensibile.

Art. XIII. — **Statistica dei fiumi.**

130. Nella mia Memoria del 1846 sulla statistica de' fiumi esordiva colle seguenti osservazioni « La scienza delle acque, limitando « da principio le proprie ricerche a ciò che risguarda l'architet- « tura idraulica propriamente detta, all'arte cioè di farle servire « pei commodi della vita, e di frenare le loro irruzioni, ella era « scienza del tutto isolata. Ma vennero frattanto a cadere sotto « l'occhio dell'osservatore altri fenomeni che per la serie delle

(18) Coi mezzi de' quali l'arte poteva in addietro disporre, sommamente arduo sarebbe stato il determinare quel gonfiamento del filone sopra un grande fiume in piena. Sembra che ora, facendo uso del *cleps* inventato dal chiarissimo sig. Maggiore Cav. Porro, vi si possa riuscire.

« cause e degli effetti si collegavano alla meteorologia, e le potevano « fornire la controprova delle sue induzioni. Altri fenomeni parvero « ripetere quelli che in una più vasta scala dovevano essere av- « venuti in remote età del globo, e aggiunsero un nuovo capitolo « alla geologia. E finalmente nel paragone de' fiumi, la geografia « fisica trovò un profondo argomento d' osservazione ed un nuovo « lume per determinare la complessiva natura d'ogni regione della « terra. Di modo che se si avessero per un momento a dimenticare « tutti i diretti servigi che la scienza delle acque può prestare « alle nazioni, ella formerebbe ancora una importante materia di « studi per l' ajuto che offre a molte altre scienze naturali, nella « parte che risguarda *la statistica de' fiumi* ».

131. In quello scritto tesso la storia dei lavori dei più distinti idraulici di questo secolo che, prendendo ad illustrare, di solito con monografie, la condizione idrologica di qualche fiume, mercè una serie di fatti coordinati, ne rivelarono l' indole particolare, ed anche senza un piano prestabilito concorsero a fondare quel nuovo ramo di scienza basato sulle osservazioni. Fo ivi particolare menzione dei lavori importantissimi già pubblicati dall'ingegnere Dausse, il quale era incaricato di compilare la statistica generale dei fiumi della Francia. Lo chiudo poi con una traccia sul modo col quale queste osservazioni dovrebbero regolarsi e raccogliersi; intorno a che verrò ora esponendo le mie vedute con qualche maggiore estensione, nella speranza che, particolarmente in Italia, ove se ne prova estremo bisogno, siffatti studi abbiansi a coltivare in guisa di poter provvedere alle peculiari esigenze del paese, che fu la culla di quella scienza la quale, come dissi, ebbe tanta influenza nella sua prosperità.

132. Ne' programmi diramati dall' autorità governativa intesi a fare intraprendere tali osservazioni, scorgesi che gli autori di essi hanno voluto provare di avere nulla dimenticato, senza considerare che per riuscire in ciò è mestieri restringerli a quanto è rigorosamente necessario affinchè possano avere effetto. Nel 1852, d' ordine della cessata direzione superiore delle pubbliche costruzioni pel Lombardo-Veneto, venni incaricato di presentare le mie proposte circa al modo col quale dovevasi iniziare la statistica dei fiumi di quel territorio, al che corrisposi con una Consulta, ove ho esposte le mie vedute, rispetto alla Lombardia, approfittando

del materiale già esistente. E poichè le norme ivi indicate erano il frutto dell'esperienza, trovo opportuno di pubblicare in breve quello scritto.

133. Taluni attribuiscono molta importanza al rilievo topografico de' fiumi, ed in Lombardia fu oggetto di discussione per venti anni la scala secondo la quale dovevasi ciò praticare. Da ultimo si convenne che, rispetto al Po, poteva bastare il rilievo generale eseguito intorno al 1820 nella scala di $^1/_{15000}$, col farvi di tempo in tempo le opportune rettificazioni, e riservando un apposito rilievo in scala maggiore per quei tronchi ove richiedevansi particolari studi aventi uno scopo speciale. In quanto agli affluenti del Po, dovevasi procedere con principii analoghi.

134. Fondamento della statistica de' fiumi sono le osservazioni idrometriche. Nei fiumi della Lombardia trovansi generalmente collocati gli idrometri ove ha stanza un agente subalterno della pubblica amministrazione per un servizio particolare, come sarebbe alla derivazione di un canale d'irrigazione o di navigazione, o allo sbocco di un colatore munito di chiavica, rimanendo incaricati delle osservazioni i rispettivi custodi o chiavichieri. Utili riescono le osservazioni giornaliere praticate ai singoli idrometri per quel dato servizio; ma rispetto alla statistica, scelgonsi quegli fra essi che per la loro posizione possono servire di norma onde studiare l'indole del fiume, e che perciò si considerano siccome idrometri principali. In tale scelta si preferiscono quelli che sono collocati a valle dei precipui tributarj, limitandone possibilmente il numero alfine di non rendere troppo complicato il coordinamento delle loro indicazioni. Ne' fiumi della Lombardia lo zero dell'idrometro si è generalmente collocato al livello della magra ordinaria, mentre nelle provincie Venete e nell'Emilia lo zero è collocato al segnale della guardia degli argini. E nell'uno e nell'altro caso si ha l'inconveniente di altezze in parte positive ed in parte negative, difetto che per altro viene compensato da qualche vantaggio, come sarebbe, nel primo caso, di partire da un livello di pelo d'acqua che offre poche anomalie di pendenze, e nel secondo caso di riuscire più commode le osservazioni pel servizio di guardia agli argini nelle piene, mediante l'aggiunta d'idrometri temporanei intermedi, i quali servono soltanto duranti queste. Le osservazioni idrometriche continue si praticano di solito al mezzodì d'ogni

giorno; ma in tempo di piena si fanno ad ogni ora, e sopra i fiumi torrentizj soggetti a piene rapide, ad ogni quarto d'ora.

135. Di somma importanza sono le scale idrometriche delle portate, le quali si compongono mediante misure in prossimità degli idrometri principali. Praticate queste o direttamente con tachimetri, oppure mediante l'applicazione di formole idrometriche per varii stati del fiume, coi metodi d'interpolazione si costruisce una scala delle portate in funzione delle altezze. Circa alle misure dirette, in Italia si è generalmente fatto uso delle aste galleggianti, che danno la velocità media per una data perpendicolare, ma che riescono incommode e poco sicure in piena ne' fiumi maggiori. Baumgarten per la Garonna ha fatto uso del molinello di Woltmann da lui perfezionato; e gli ingegneri del Mississippi del galleggiante composto, che solo poteva adoperarsi in quelle enormi profondità. Per la misura della portata di canali artificiali può eziandio servire il tubo di Pilot perfezionato da Darcy, del quale fece particolarmente uso il Bazin (1).

136. La livellazione longitudinale de' fiumi è pure utile, legando con essa le scale di tutti gli idrometri, con che si viene a conoscere la pendenza del fiume ne' varj suoi tronchi e ne' differenti suoi stati dalla magra alla piena, come pure le anomalie che scorgonsi nella latitudine delle sue oscillazioni. Le sezioni trasversali del fiume occorrono ove si praticano le misure di portata, ed in quei tronchi ne' quali si fanno studi particolari per uno scopo determinato, richiedenti di tener dietro a tutte le variazioni che ivi avvengono. La livellazione generale gioverà riferirla al livello medio del mare.

137. Le osservazioni giornaliere fatte agli idrometri principali sono il materiale col quale si compongono i *Sunti* di esse per una serie d'anni, mese per mese, ed in alcuni casi per ogni de-

(1) Per l'uso delle aste galleggianti adoperate sul Po e nel Tevere vedansi le *Ricerche geometriche ed idrometriche fatte nella Scuola degli ingegneri pontificj d'acque e strade gli anni 1821 e 1822*; Roma 1821, Milano 1822. Per l'uso del molinello di Woltmann, e per i miglioramenti in esso introdotti, la Memoria di Baumgarten nel II semestre 1847 degli *Annales des Ponts et Chaussées*. Per la forma e l'uso del galleggiante composto, la *Monografia del Mississippi* e la Relazione Messedaglia precit. Per i miglioramenti introdotti da Darcy nel tubo di Pitot, la sua Nota nel sem. I 1858 degli *Annales des Ponts et Chaussées*.

cade (2). Ne' prospetti relativi si determinano per ogni mese dell'anno; 1.° le medie delle altezze medie, massime, e minime; 2.° i massimi ed i minimi delle medie; 3.° i massimi delle altezze minime ed i minimi delle altezze massime; 4.° le altezze massime e minime assolute per l'intero periodo. Si termina il prospetto colla indicazione dell'altezza media di esso periodo, e di un dato numero di altezze medie massime o minime annuali. Se trattasi di fiume del quale occorre utilizzare le acque per irrigazioni, pei mesi estivi ne' quali si praticano, le altezze medie si prendono per decadi. Allorchè si possiede una scala idrometrica delle portate, queste si sostituiscono alle altezze, deducendosi infine la portata media dell'intero periodo cui, come dissi, ho dato il nome di *modulo* (3).

138. Le osservazioni idrometriche giornaliere per un dato idrometro si rappresentano eziandio graficamente mediante *curve* segnate sopra reticola, le ascisse delle quali sieno i tempi, e le ordinate le altezze. Altrettanto può farsi per le curve delle portate, le quali pure corrispondono alle ordinate. Colle curve delle altezze contemporanee per una serie di idrometri, di cui si conoscano le distanze, si rileva il tempo impiegato nella propagazione del fiotto d'una piena, confrontando i tempi ne' quali si hanno nelle curve punti di regresso comparativi. Se poi si hanno le curve delle oscillazioni

(2) Nella provincia di Mantova si sono sistemati col 1817 gli idrometri del Po, e successivamente quelli de suoi affluenti Oglio, Mincio, e Secchia; e si continuarono le osservazioni per oltre un mezzo secolo. Mi si dice che tutto quel materiale sia scomparso, o per meglio dire sia stato derubato, attesa la considerevole sua mole, per passare alla *folla*, cosicchè l'ufficio del Genio civile di quella provincia ha dovuto rivolgersi alla già direzione delle pubbliche costruzioni in Milano per avere almeno il duplicato di quelle osservazioni che le si mandavano dopo il 1851. Questo fatto dovrebbe servire di norma per vegliare, particolarmente nel caso di traslocamenti, alla conservazione di tali osservazioni, che se isolate non contengono se non *numeri morti*, coordinate riescono preziose pei studi statistici.

(3) In una nota alla mia Memoria precitata sulla statistica de' fiumi, ho osservato che « al deflusso unitario medio di un fiume ho applicato il nome di *modulo* in quanto « che esso serve siccome dato di confronto per riferirvi tutte le variazioni di deflusso « che avvengono nelle diverse circostanze, come pure per indicare la portata assoluta « de' fiumi, nella stessa guisa che al modulo in architettura si riferisce la grandezza « delle parti d'un edifizio, e dalla misura di quello desumesi eziandio la grandezza del- « l'edificio stesso. Applicato quel vocabolo in Francia dal Baumgarten nel Sunto delle mie Memorie, di cui si parlerà in appresso, e nella sua bellissima monografia della Garonna, vedesi di poi adottato degli idraulici francesi. Circa a quei *Sunti* vedansi in fine alle mie Memorie sui progetti di canali irrigui del 1862-63.

delle maree alla foce, è dato scorgere per gli idrometri dell'ultimo tronco del fiume fino a qual punto si estenda l'effetto di tali oscillazioni, ed il grado di loro latitudine alle varie distanze, ossia l'azione del rigurgito e della chiamata di sbocco sul pelo d'acqua fluviale.

139. In occasione delle straordinarie piene autunnali del 1839, avendo io rappresentato graficamente le oscillazioni del pelo d'acqua del Po pei diversi idrometri da Piacenza al mare, ho potuto istituire tali riscontri. Essendo poi avvenute in quell'occasione rotte disastrose alla destra del Po mantovano mi fu dato di determinare per alcune piene ad esse successive le oscillazioni delle acque d'inondazione, la depressione del pelo d'acqua a monte per la diversione delle rotte, e la piena parziale a valle per la restituzione al fiume delle acque divertite; come pure i mentovati confronti delle oscillazioni delle maree; lavoro che spero di pubblicare siccome monografia di quelle memorabili piene.

140. Chiamansi *tenute* (vocabolo tolto alla musica), le durate delle singole altezze del pelo d'acqua, ossia dei vari stati del fiume, in ogni mese dell'anno per un dato periodo, oppure le medie di un anno per l'intero periodo. Esse possono rappresentarsi con una curva le cui ascisse sieno le altezze idrometriche, e le ordinate i tempi, ossieno le frazioni dell'anno delle rispettive durate; oppure con altra le cui ascisse sieno le durate, e le ordinate le altezze successive. Siccome il dato delle tenute è della massima utilità per conoscere il grado di navigabilità di un fiume nei varj mesi dell'anno, onde regolare le spedizioni delle merci, ho a tal uopo disposto il prospetto numerico V di tali tenute per l'idrometro di Pontelagoscuro sul Po rispetto ai 21 anni decorsi dal 1827 al 1847, che vedesi unito alla mia Memoria del 1862 sulle irrigazioni della valle del Po. Riuscendo più o meno impedita la navigazione per altezze d'acqua inferiori alla magra ordinaria, le tenute di queste sono date mese per mese ad ogni differenza di un decimetro, aggiungendovi il numero medio dei giorni ne' quali il fiume si è conservato sopra la guardia, stato nel quale cessa la navigazione (4).

(4) Il dato delle *tenute* fu per la prima volta indicato dall'ingegnere Dausse pei fiumi della Francia, ove è riuscito di una somma importanza, giacchè serve di norma per regolare le opere di miglioramento della loro navigazione, principalmente coll'applica-

141. Un dato importante per la parte statistica de' fiumi si è pure la misura della pioggia cadente sul bacino scolante col mezzo di udometri collocati in località opportune; associandola ad osservazioni anemometriche sulla direzione dei venti negli alti strati dell'atmosfera, da ricavarsi principalmente da quella delle nubi. In tal modo si pongono annualmente a confronto le quantità della pioggia caduta e dei deflussi per un dato bacino fluviale, rispetto al quale è mestieri tenere separata la superficie montuosa, ove le piogge sono di solito più copiose, e gli afflussi più rapidi, dalla superficie piana, ove avvengono maggiori disperdimenti per evaporazione e per infiltrazione. Vi ha per altro l'anomalia che nei nostri climi le acque che provengono dal disgelo della neve che cade al termine d'ogni anno, scorrono al fiume nella primavera successiva, se trattasi di monti poco elevati, o nella seguente estate per la regione alpina con ghiacciaj.

142. Rispetto al Po, avendo io determinato in 1720 m. c. il suo deflusso annuale medio, ossia modulo, pei tredici anni decorsi dal 1827 al 1840, partendo dalle misure di portata praticate a Pontelagoscuro dopo tutte le sue confluenze, ne ho ricavato che esso equivale ad uno strato d'acqua di $0^m,781$, distribuito sull'intero suo bacino, della superficie di 69382 chil. q., de' quali 28326 in piano, e 41056 nel monte. Notai che quello strato d'acqua corrisponderebbe prossimamente ai tre quarti della pioggia che cade a Milano.

143. In quanto all'Adda lacuale avendone, dietro misure approssimative, determinato il modulo in 187 m. c., ne ho desunto che questo equivale ad uno strato d'acqua di $1^m,313$ disteso sul suo bacino tutto montuoso di 4330 chil. q. Supposto che il deflusso in quella regione equivalga ai $^3/_4$ della pioggia, questa verrebbe ad essere ragguagliatamente di $1^m,75$, e supposto pure che al piede di que' monti fosse la pioggia di $1^m,10$, sulla loro sommità essa giungerebbe a circa $2^m,40$. Tali induzioni le faceva nel 1846; ed essendosi dieci anni dopo iniziate sul giogo dello Stelvio, a circa 2800^m di altitudine, delle osservazioni udometriche, ne risultò

zione di traverse accoppiate alle conche; provvedimento attuato in grande scala in que' fiumi, come vedremo in appresso, attesa la particolare condizione ipsometrica, ed idrologica di quel territorio.

con strana coincidenza che ivi cadeva la pioggia e la neve sciolta nella misura di 92 pollici di Vienna ossia di $2^m,42$.

144. Conosciuto il modulo del Po, e quello dell'Adda lacuale con un bacino totalmente montuoso, mi proposi di determinare approssimativamente i moduli dei singoli tributarj del Po. Cominciai dal notare che col moltiplicare pel coefficiente astratto 0,04165 la superficie in chil. q. del bacino dell'Adda, mi risultava il suo modulo. Modificato perciò quel coefficiente in più od in meno a seconda della maggiore o minore altitudine od esposizione ai venti piovosi de' monti di ciascun bacino, della condizione udometrica, e del grado presuntivo di permeabilità della parte piana di essi, con una serie di tentativi sono giunto a comporre il prospetto XI dei Cenni idrografici inseriti nelle *Notizie Naturali e Civili sulla Lombardia,* ove scorgonsi indicati quei moduli, la somma de' quali è di 1795 m. c. Questa eccede di 75 m. c. il modulo del Po, eccesso che corrisponderebbe ai disperdimenti del quadrimestre estivo maggio-agosto per effetto delle irrigazioni. Quei risultamenti si considerarono ammissibili siccome approssimativi, poichè avendosi il riscontro col modulo complessivo del Po, gli errori si limiterebbero alla sola distribuzione di esso nei moduli parziali, salvo a correggerli coi dati di successive osservazioni ed esperienze (5).

145. Nella precitata Memoria del 1846 sulla statistica de' fiumi osservava che sulla vetta de' monti che fanno corona al Po, la quantità della pioggia e della neve avrebbe per misura un' altezza dalle due alle quattro volte maggiore di quella che si ha per la parte piana della valle. Notava pure che trovandosi il bacino del Po circondato dalle più alte cime dell' Europa ed esposto ai venti piovosi della marina, si combinerebbe così un massimo concorso di vapori che i caldi venti del deserto affricano accumulano attraversando il Mediterraneo e l'Adriatico, con una massima azione refrigerante, talchè il Po, a pari superficie scolante, dovrebbe occupare il primo posto rispetto alla copia delle sue acque fra i fiumi del continente europeo. Conchiudeva poi col dire « che per « tal guisa, mentre sulle cime inospiti delle nostre Alpi sarà sempre

(5) Rispetto ai dati statistici di altezze e portate de' fiumi della valle del Po, vedansi le varie mie Memorie idrauliche precitate ove sono annessi, e circa a quelli più recenti che risguardano i laghi, le ultime mie Memorie sulle irrigazioni del Cremonese, e dell' alto Milanese.

« impossibile il praticare osservazioni dirette che determinino il « quantitativo della pioggia e della neve caduta, a ciò supplirebbero « bero le osservazioni idrometriche praticate sui fiumi, i quali sono « perciò a considerarsi siccome altrettanti udometri che ci rivelano « un fenomeno, prevedibile bensì in termini generali, ma che nessuno « suno sicuramente avrebbe creduto dovesse avvicinarsi ad un tal « limite nella sua misura.

146. Il compianto mio amico Baumgarten, nel porgere un Sunto delle mie Memorie idrauliche, rispetto alle deduzioni preaccennate dice « Confrontando Lombardini la quantità d'acqua *caduta* (doveva « veva dire defluita) sulla superficie dei bacini dei diversi fiumi, « col loro deflusso totale è giunto ai risultati seguenti:

« Il bacino del Po ha una superficie di 69,382 chil. q., di cui « 28,326 in pianura, e 1720 (leggasi 41,056) nel monte. Supponendo « che il deflusso annuale del fiume, il quale corrisponde al modulo « dulo di 1720 m. c. per un secondo, sia uniformemente disteso « su tale superficie, lo spessore di quello strato d'acqua sarebbe « di $0^m,781$, ossia i $^3/_4$ della pioggia che cade a Milano (6).

Il sig. Belgrand, avendo frainteso quel concetto dice « Baumgarten « garten cita le osservazioni del signor Lombardini donde risulterebbe « rebbe che il Po scarica i $^3/_4$ dell'acqua che cade sul suo bacino « (quantità che dichiarai essermi ignota) (7). Questa proposizione erronea venne ripetuta dal signor Saint Clair nella sua idrologia dell'Eure (8) e dal signor Lagrené nella recentissima sua opera, *Cours de navigation intérieurê* (9). Il signor Duponchel poi con una specie di *crescendo*, in un recente suo *Trattato d'Idraulica e di geologia agricola* (10), dopo avere notato l'errore commesso dal Baumgarten di considerare il deflusso integrale della Garonna siccome una frazione della pioggia caduta in pianura ad Espalais, osserva che lo stesso errore sarebbe stato commesso da me per la valle del Po *à la quelle il applique arbitrairement le resultat moyen de l'hydromètre de Milan, indiquant une couche d'eau pluviale de* $1^m,05$. Aggiunge che questa ipotesi è incompatibile coll'esempio

(6) *Annales des Ponts et Chaussées,* 1847, sem. I, pag. 163.
(7) Idem 1852, sem. I, pag. 38.
(8) Idem 1857, sem. I, pag. 161.
(9) Parigi 1869, pag. 17.
(10) Parigi 1868 pag. 59.

dell'Adda il cui deflusso corrisponde ad uno strato di $1^m,296$ sul suo bacino. Coll'aver io detto che il deflusso integrale del Po ricavato dal suo modulo è rappresentato da uno strato disteso sul bacino di $0^m,781$, equivalente a $^3/_4$ della pioggia che cade a Milano, non ho sicuramente inteso di dedurlo da questa, ma dal rapporto di quella quantità colla superficie del bacino. Se al signor Belgrand è sfuggito quest'equivoco, ripetuto senza esame da Saint Clair e da Lagrenè, altrettanto non doveva fare il signor Duponchel, dal momento che prese ad analizzare il mio concetto per dichiararlo erroneo. Del resto nella Nota finale (B) alla mia Memoria del 1858 sulle inondazioni della Francia, aveva io pure osservato che, avuto riguardo alla elevazione del versante de' Pirenei d' onde discende la Garonna con parecchi de' suoi tributarj, la pioggia caduta ad Espalais pareva dovesse essere al disotto della media dell' intero bacino a monte.

147. Allorchè composi il precitato prospetto XI, mi mancavano dati statistici particolari pel Ticino, emissario del lago Maggiore, e ne determinai il modulo pel bacino montuoso col coefficiente astratto 0,050. Ma essendosi di poi praticate le osservazioni idrometriche giornaliere del lago stesso, e composta una scala approssimativa di portate del suo emissario, ne risulterebbe che all'altezza media annuale di $0^m,984$ sullo zero corrisponderebbe un efflusso di 411 m. c., che potrebbe assumersi pel suo modulo. E siccome la superficie del suo bacino montuoso rettificata sarebbe di chil. q. 6466, ne consegue che il suo deflusso annuale corrisponderebbe ad uno strato d' acqua dell' enorme altezza di 2^m (11).

148. Nella precitata mia Memoria sulla statistica de' fiumi ho dato ragguaglio degli studj intrapresi dall' illustre mio maestro professore Venturoli sul Tevere, coi quali pose a confronto i suoi deflussi e le piogge cadute sul suo bacino. E ne risultò il fatto veramente strano che, mentre negli anni di grande siccità i deflussi superano gli otto decimi delle piogge, in quelli piovosi i primi non giungono alla metà degli altri. Egli procurò di spiegarne la causa, supponendo che in tempi piovosi, saturato il terreno d' umidità, le acque affluiscano al fiume sulla superficie di esso, e così rimangano più lungamente esposte all' evaporazione, cui sa-

(11) Vedasi la mia Memoria sui progetti di canali irrigui per la valle del Po, 1862.

rebbero sottratte nelle siccità, perchè assorbite tosto dal suolo. Tale spiegazione in vero non mi appagava, in quanto chè nelle stagioni piovose, minima si è l'evaporazione, e nelle asciutte le tenui piogge che per pochi centimetri penetrano nel terreno, vengono riassorbite dall' evaporazione combinata coll'azione capillare. Presa quindi in più maturo esame la cosa, in ciò particolarmente che concerne le portate unitarie assolute del fiume, mi fece maraviglia il vedere che anche nelle massime magre essa non discenda mai al disotto di 160 m. c., di modo che corrisponderebbe a 0,60 del suo modulo; mentre nel Po sarebbe tale rapporto di 0,20 soltanto. A questa notevole permanenza e copia di deflusso in magra farebbero poi contrasto le straordinarie oscillazioni delle rapidissime sue piene. Ne ho quindi tratta la conseguenza, che i deflussi del Tevere hanno un carattere, in parte lacuale, ed in parte torrentizio, e che i primi devono essere alimentati da serbatoj sotterranei in una misura che prossimamente eguaglierebbe i tre quarti del deflusso totale, fenomeno idrologico che sarebbe affatto eccezionale (12).

149. La Commissione idrometrica di Lione fu una delle più utili istituzioni per fare praticamente progredire la statistica dei fiumi. Di essa porsi un cenno fino dal 1846 nella mia Memoria sopra tale argomento due anni dopo la sua fondazione, e de' suoi lavori mi valsi nella Memoria del 1858 *Sulle inondazioni della Francia,* particolarmente pel bacino della Saona. Lo che avrei fatto in modo più compiuto se mi fossero giunte in tempo le osservazioni del 1856, pel qual anno non ricevetti che assai tardi il prospetto delle sole altezze medie mensili del fiume (13). I cenni idrologici ivi esposti sull' Isère, sulla Durance, e sulla Loira ebbi la compiacenza di vederli confermati da distinti tecnici della Francia

(12) Memoria precitata, edizione del 1854, pag. 25 e seguenti. Questa mia induzione la ammise il chiarissimo prof. Venturoli, cui nell'autunno 1846 consegnai le bozze della stampa in corso poche settimane innanzi alla sua morte; e la ammettono tutti i tecnici di Roma. La cosa è talmente strana che il sig. Beardmore la pone in dubbio nel suo Manuale d'Idrologia (Londra 1862 ediz. 2.ª), malgrado la fiducia riposta ne'miei lavori statistici sul Po, dei quali porge ivi un esteso Sunto.

(13) Quella Commissione dall'anno 1844 al 1851, e di poi pel biennio 1854-55 contrappose alla quantità delle piogge sul bacino della Saona i deflussi giornalieri di questa, calcolati alla scala di Trevoux. Di quei dati mi giovai pel primo settennio dall'ottobre 1844 a tutto settembre 1851, ripartendo il periodo in modo di avere riguardo al ritardato afflusso delle nevi liquefatte.

articolarmente edotti delle circostanze locali (14). In essa Me-
aoria ho aggiunta la Nota finale (C) nella quale offro un paral-
elo di parecchi fiumi rispetto alla ricchezza delle acque nei
ari loro stati. Riproduco ora in fine il prospetto (X) rettificato,
ve nella colonna settima indico il grado di perennità dei di-
ersi fiumi ricavato dal rapporto del modulo colla magra massima
nnuale.

150. Nel 1864 ho rivolti i miei studi al Nilo, quel classico fiume, l cui reggime era avvolto nel mistero, come lo erano pure le sue sorgenti. La scoperta allora fatta di talune di queste mi fu di eccitamento a comporre un Saggio sulla sua idrologia, mettendo a contributo una infinità di notizie staccate, a coordinare le quali si richiese un lavoro che minacciava di soverchiare le mie forze. Ad incoraggiarmi in ciò influì non poco lo scorgere la semplicità del reggime di questo fiume singolare, semplicità che non può incontrarsi per qualsiasi altro fiume del mondo, cosicchè collo studio di qualche anno sono giunto, siccome notai nel proemio, a farmene un' idea assai più netta di quella che ho potuto formarmi del reggime del Po dopo un mezzo secolo di osservazioni. Se difatti si consideri che l' alimento delle sue piene lo trae dalle piogge tropicali regolate dal corso del sole; che pel Nilo Azzurro, cadendo esse sopra la regione alpestre dell' Abissinia, danno a questo un carattere torrentizio con copiose torbide che mercè le loro deposizioni fecondano la valle ed il delta dell' Egitto; che pel Nilo Bianco i deflussi vengono moderati dagli immensi laghi equatoriali che ne raccolgono le sorgenti, e dalle successive vastissime paludi, le quali ne chiarificano sempre più le acque; che il fiume unito, dopo la confluenza dell' Atbara sotto Cartum diviene solitario in lunghezza di 2500 chilom. fino alla foce in mare, cosicchè, reso ivi semplicissimo il suo reggime, con osservazioni e misure praticate in località convenienti, è dato di risolvere nel modo più positivo questioni idrologiche, ed idrometriche insolubili per altri fiumi; sarà forza convenire nella mia induzione. Starebbe quindi l' osservazione da me fatta che gli elementi principali del reggime

(14) I tecnici che ammisero le mie induzioni, ed i fatti esposti, da cui le ho ricavate, furono i signori Daigremont per la Durance; Diday per l' Isère, ed Ispettore Comoy per la Loira, dopo avere egli rispetto a questo fiume compiuti i suoi studi speciali.

di questo fiume modello si offrono talmente distinti, ed in una scala così grande da rendere insignificanti le perturbazioni degli altri elementi subalterni, precisamente siccome avviene pel moto dei corpi celesti.

151. Riportandomi a quanto ho esposto nel Saggio stesso ed in quattro Appendici, a rettificazione di opinioni inattendibili di eminenti geografi, anche per ciò che concerne le cause prevalenti delle sue piene, attribuite erroneamente a quelle dei grandi laghi equatoriali da cui trae origine, mentre dimostrai non avere *questi* in esse un' influenza apprezzabile, mi limiterò alle seguenti notizie statistiche. Il corso del Nilo Bianco, e del Nilo unito, dalle sue sorgenti oltre l' equatore alla sua foce nel Mediterraneo al parallelo 31°. 30′ è della lunghezza di 6300 chilometri. Il bacino alpestre del Nilo Azzurro nell' Abissinia sarebbe della *superficie* di circa 730,000 chil. q., e quello del Nilo Bianco e del Nilo Unito sotto Cartum, che comprende una parte del deserto, è di 2,270,000 chil. q., cosicchè la superficie totale del suo bacino sarebbe di circa tre milioni di chil. q., quindi pressochè pari a quelli del Mississippi e del Rio della Plata. Contuttociò il *modulo* del fiume determinato presso il Cairo mediante le osservazioni idrometriche di 16 anni, dal 1846 al 1861, è di soli 3426 m. c., ossia doppio appena di quelli del Po e del Rodano. Esso corrisponderebbe ad uno strato d' acqua disteso sull' intero suo bacino di $0^m,036$, e quindi minore di un ventesimo di quello del Po, e di un cinquantesimo di quello del Ticino. Il suo deflusso al Cairo in massima magra si calcola in 418 m. c., e quello della massima piena del 1861 in 10177 m. c., di poco maggiore di quella del Rodano, ma che la supererebbe in notevole misura per la portata integrale, attesa la lunga sua durata. Da questi dati desumesi quanto debba essere l' effetto dell' evaporazione in quella regione sulla quale le piogge tropicali ed equatoriali non avvengono se non a monte della confluenza dell' Atbara distante circa 300 chil. da Cartum.

152. Coi pochi dati che ho potuto raccogliere, ho determinato in via di semplice tentativo l' attenuamento del deflusso annuo integrale del Nilo da Cartum al Cairo a cagione dei disperdimenti, principalmente d' evaporazione, sulla superficie del fiume e sulle sue espansioni nelle piene; e quello eziandio della portata massima

delle piene per effetto del riempimento dell'alveo, il quale si scarica nello stadio di piena decrescente. Se si collocheranno nuovi idrometri sui tronchi superiori nelle località da me indicate; se si praticheranno ivi pure osservazioni giornaliere come ora si fa presso al Cairo; e se si eseguiranno in prossimità di essi altre misure di portata, potranno riformarsi con dati maggiormente positivi i calcoli da me istituiti in via di massima soltanto, onde dedurne risultamenti attendibili per le pratiche applicazioni. Atteso il sommo interesse che prende il Governo dell' Egitto nello studiare l' indole del fiume, onde avvisare a quei provvedimenti che valgano ad utilizzarne nel miglior modo possibile le acque od a premunirsi contro le loro irruzioni, si ha motivo di sperare che tali misure possano mettersi in atto, poichè dalle vicende delle sue piene dipende appunto annualmente la sorte del paese.

153. Nell' articolo precedente ho offerto qualche cenno degli studi fatti sul Mississippi per ciò che concerne la parte idrometrica, studi che condussero a scoprire leggi sulla distribuzione della velocità delle acque che dapprima si ignoravano, ed a comporre nuove formole per calcolare la portata dei fiumi. In quanto alla statistica risulterebbe da quegli studi che la superficie dell' intero bacino, per la più parte piano, sarebbe di 3,221,000 chil. q. Esso termina nella parte orientale colla catena degli Allegani ed all' occidente col versante orientale delle Montagne Rocciose. L'alto Mississippi superiore alla confluenza del Missouri avrebbe un bacino piano della superficie di 437,541 chil. q. con un modulo parziale di 2973 m. c., cui corrisponde uno strato d'acqua di $0^m,213$. Il bacino del Missouri, pure generalmente piano, con colline di moderata altezza, fino al versante delle mentovate Montagne Rocciose è della prevalente superficie di 1,341,102 chil. q.; ma attesa l' esiguità delle piogge su di esso cadenti, ed i notevoli disperdimenti delle acque, il suo modulo parziale è di soli 3397 m. c. con uno strato d' acqua di $0^m,08$. L'Ohio invece con un bacino generalmente montuoso di 554,046 chil. q. nella mentovata catena orientale degli Allegani più prossima all' Oceano Atlantico, e con piogge più copiose, ha il modulo preponderante di 4473 m. c., cui corrisponde uno strato d'acqua di $0^m,256$. Il modulo complessivo presso Nuova Orleans, dopo tutte le confluenze, è di 19111 m. c., il quale corrisponde ad uno strato d'acqua di $0^m,19$ sull' intero

bacino, strato che non giunge ad un decimo di quello del Ticino, e ad un quarto di quello del Po.

154. La portata della massima piena del 1858 a Columbus sotto la confluenza del Missouri e dell' Ohio, giunse a 41850 m. c., ma fu comparativamente di breve durata, andando ivi soggetto il fiume a notevoli oscillazioni. A Wicksburg invece, posto 600 miglia a valle, dopo le principali confluenze, limitossi a 35250 m. c., ma durò il colmo 113 giorni dal 10 aprile al 1.° agosto, con una latitudine di 0^m, 61 nell'altezza, e di un decimo nella portata. Quella della massima magra, presso Columbus fu di 3680 m. c., e di 6230 nel tronco inferiore presso Nuova Orleans, a cento miglia dalla foce in mare (15).

155. Il più gran fiume del mondo è l'Amazzone, intorno al quale si stanno facendo esplorazioni, sia nell' interesse dell' impero del Brasile, nel cui territorio cade il tronco inferiore del fiume, sia in quello delle repubbliche della Bolivia, del Perù, e dell' Equatore, che, seguendone il corso, avrebbero una più diretta comunicazione coll'Europa. Dal 1865 al 1866 una esplorazione scientifica ebbe luogo da parte dell' illustre naturalista Agassiz, accompagnato dal distinto ing. Coutinho che lo aveva esplorato anche in addietro insieme al principale suo affluente meridionale Madeira. Dalla Relazione loro si potranno ricavare notizie interessantissime su questo fiume gigante, la cui importanza andrà ad accrescersi non di poco in conseguenza del decreto del 3 settembre 1867 dell' imperatore del Brasile, che accorda la libera navigazione del fiume sul suo territorio alla marina mercantile di tutte le nazioni, notizia che venne data dallo stesso signor Agassiz.

156. Il suo corso è prossimo all'Equatore, che ne interseca la foce, mentre all' altro estremo, alle radici delle Ande tocca il parallelo meridionale 5.° I suoi tributari della sinistra si trovano in parte nell' emisfero settentrionale, e quelli più poderosi della destra nell'emisfero meridionale, cosicchè i loro afflussi giungono al recipiente in stagioni totalmente opposte. La superficie del suo bacino è di circa 5,000,000 di chilometri quadrati, e starebbe così a quello del Mississippi nel rapporto di 1,6 : 1. La sua posizione fra i tropici; l' azione di un vento orientale dominante; e la grande altitudine

(15) Veggansi la monografia del Mississippi, e la Relazione Messedaglia precitate.

delle Ande che lo conterminano dal lato occidentale coperte di nevi e di folti boschi a differenza delle aride sabbie del versante opposto, fanno sì che su di esso cadano, nei soliti periodi, piogge dirottissime e copiose nevi. La massima depressione delle acque del fiume si ha in ottobre; la piena d'afflusso dei tributari della destra nel marzo, e quindi dopo un abbassamento meno pronunziato del fiume principale, aggiungendovisi le piene degli affluenti di sinistra, si avrebbe la sua piena prevalente nel giugno. L'altezza massima di questa sulla magra giunge allora presso la confluenza del Rio Negro a 13^{m}. A cagione dell'alternativa delle piene degli affluenti di destra e di sinistra, essi presso le loro foci vanno annualmente soggetti a due piene, una propria d'afflusso, e l'altra di rigurgito, nel qual caso le acque del recipiente s'introducono nell'affluente. A siffatta circostanza sembra attribuibile il fenomeno singolare che dal fiume principale si staccano rami di diversione che si scaricano a valle ne' suoi affluenti, siccome avviene a sinistra pel Hyapura e pel Rio Negro. Un fenomeno simile scorgesi pure pel più poderoso de' suoi affluenti il Madeira, a destra del quale staccasi un diversivo detto Mahuès, o Ramos, che, attraversati affluenti secondari, sbocca a valle nell'Amazzone sotto Villa Bella, dopo di essersi unito al Tupinambaranas, che dà il nome all'ampia isola interposta. Il tronco dell'Alto Amazzone peruviano a monte della confluenza dell'Ucayali chiamasi propriamente Marañon.

157. Mancano dati statistici su questo fiume; ma ponendolo a confronto col Mississippi, si possono verisimilmente determinare nella seguente misura. Supposto lo strato d'acqua sull'intero suo bacino triplo in altezza di quello del Mississippi; avuto riguardo alla maggiore estensione di questo ed alla copia delle piogge, il modulo risulterebbe di 95,000 m. c. La portata unitaria si calcola 150,000 m. c. in piena e 40,000 m. c. in magra. La pendenza è piccolissima, non giungendo a due centimetri per chilometro. Il suo delta negativo, abbiamo veduto essere della larghezza di 300 chilometri. L'azione delle maree si fa sentire fino alla distanza di oltre 700 chilometri presso Obidos.

158. La parte piana del suo bacino è della lunghezza di circa 3,600 chilometri e della larghezza media di 1,200, ed è generalmente costituita di un arenaria con colinette simili, roccia sommamente

friabile, che nelle regioni superiori sul territorio peruviano si converte in sabbia, non incontrandosi nel fiume, e ne' suoi tributarj al piano ciottoli di sorta. Alla foce le sue sponde, e le isole interposte sono di pari formazione della mentovata arenaria, cui soggiacciono uno strato di argilla di circa 12^m, ed uno successivo di sabbia. Si hanno prove che la foce va continuamente ritirandosi coll' avanzarsi dell' Oceano che ivi invade il continente. Supponendo che in epoche geologiche quella pianura fosse il fondo di un immenso lago del quale venne corroso l'emissario preesistente, questo poteva trovarsi ad oltre 400 chilometri di distanza dall' odierna foce (16).

Art. XIV. — **Arginamento dei fiumi.**

159. Ferve in Francia un conflitto fra' i tecnici circa all'efficacia degli argini piuttosto insommergibili che sommergibili, e di altri provvedimenti profilattici per moderare le piene de' fiumi, di che

(16) Le prime nozioni sull'Amazzone le ho ricavate da due articoli del Bollettino della Società geografica di Parigi, T. 12 e 14 e da due simili del Vol. VII del Globe di Ginevra, i quali sono in parte sunti delle conferenze tenute dal sig. Agassiz nel Brasile, ed informazioni comunicate dal suo compagno signor Coutinho. Pubblicatasi di poi nel 1869 a Parigi la traduzione francese della Relazione di quel viaggio, stesa dal signor Agassiz, ed in parte dalla sua consorte, mi sono valso di quest'opera per alcune rettificazioni ed aggiunte.

Mentre dava l'ultima mano a questo scritto il signor ingegnere Castañon di Lima, spedito dal suo Governo a visitare i nostri canali d'irrigazione, mi favorì in dono un libro pregevolissimo che porta il titolo « *Geografia del Peru, obra postuma del D. D. Matteo Paz Soldan, corregida y aumentada por su hermano Mariano Felipe Paz Soldan, director general de Obras Publicas etc.*

L'autore era distinto scienziato e letterato, cosicchè sono veramente preziose le notizie ivi esposte in copia e con bell' ordine per la parte descrittiva e statistica, e per le posizioni geografiche da lui determinate in continuazione di quelle stategli comunicate dall' illustre Pentland. La pubblicazione di quel libro, decretata dal Congresso nazionale, fu tarda riparazione alle persecuzioni che per partiti politici cagionarono l'immatura morte dell'autore, e la miseria della sua famiglia.

Ad accrescere il pregio di quel libro si è aggiunta un' Appendice di 120 pagine del distinto nostro naturalista Raimondi, contenente la descrizione geografica ed idrografica della così detta *Provincia litoral de Loreto*, che colle prossime meridionali e colla parte settentrionale nella repubblica dell' *Ecuador* attraversata dall' affluente Napo, descritta dal monzese Osculati, costituisce l'alto bacino dell'Amazzone. A due italiani perciò è dovuta la cognizione dell'immensa plaga ove ha le sue sorgenti ed il suo corso superiore il più gran fiume del globo. Un italiano pure, il bergamasco Beltrami, ha avuto la gloria di scoprire le sorgenti del Mississippi.

ci occuperemo particolarmente nel successivo Art. XVII. Limitandoci per ora agli arginamenti nella valle del Po, per ciò che risguarda la parte storica, mi riporto alle varie mie Memorie su questo fiume, porgendo ora per la tecnica un Sunto di quanto esposi nel cap. V, delle Notizie Naturali e Civili sulla Lombardia; nella Memoria del 1852 *Sui cangiamenti* ecc. ed in quella sulle inondazioni della Francia, particolarmente nella Nota finale (D) che vi è unita.

160. Superiormente a Cremona, a sinistra, ed a Piacenza a destra le arginature del Po costituiscono gruppi staccati, che mettono capo coi loro estremi ai promontorj dell' alta pianura insommergibile, cosicchè non havvi fra loro solidarietà per la difesa territoriale. Ma a valle di que' due punti l' arginatura maestra è continua fino al mare, congiungendosi mano mano con quelle dei singoli affluenti, talchè costituiscono d'ambe le parti sistemi solidali.

161. Da Cremona a Casalmaggiore, atteso il carattere variabilissimo e vagante del Po, gli argini maestri sonosi collocati alla distanza fra loro di quattro a cinque chilometri, e le estese alluvioni interposte, in origine costituite da boschi, e quindi ridotte a coltura, vengono utilizzate mediante una vasta rete di argini di golena. Per tal modo si lascia libero al fiume il campo delle sue variazioni di corso senza impegnarsi in opere di difesa delle sponde, meno nei punti ove sieno minacciati ragguardevoli abitati. Siccome quegli argini di golena si elevano oltre il livello di massima piena, importa assaissimo che vengano sorvegliati, affinchè dalla loro rottura non sia posta in pericolo di sormonto l' arginatura maestra presso la loro attaccatura inferiore, ove si accumulerebbero invasate le acque esondanti. A tal uopo occorre che la parte a monte di essi riesca più alta e robusta, cosicchè la loro tracimazione avvenga a valle, ed a distanza dall' argine maestro tale da non porlo in pericolo colla loro rottura.

162. Gli argini di golena continuano, ma in minore estensione, da Casalmaggiore alla foce dell' Oglio, e per qualche tratto successivo fino ad alcuni chilometri sotto alla foce della Secchia, dopo di che divengono rarissimi, raccogliendosi il fiume in ristretta e profonda sezione, con sponde maggiormente resistenti, perchè in gran parte costituite da strati argillosi. Quando l'argine serve di sponda al fiume esso prende il nome di *froldo,* gli si assegna in corona una larghezza maggiore, e viene rafforzato da banca.

163. Gli argini in froldo, nel caso di minacciata corrosione, si ritirano sopra una linea che verosimilmente non possa essere raggiunta fino a tanto che quella non sia discesa, giusta quanto si è accennato dal § 26 al 28. E poichè nella parte a valle la corrosione durerà più a lungo, è duopo tracciare tale linea in guisa che ivi si allontani maggiormente dal fiume. Quando coll'opera di ritiro dell'argine si venisse a viziarne di troppo l'andamento, oppure quando si tratti di proteggere un abitato, si difende allora con opera di fascinaggio. Per la parte subacquea si annegano fascinoni riempiti di terra e sassi, e la scarpa superiore si riveste di fascinoni più piccoli riempiti di sola terra, ed anche con altre opere di verde maggiormente economiche. In addietro con quei materiali si costruivano pennelli, ossieno moli sporgenti, ai quali oggidì sonosi sostituite le opere aderenti continue siccome maggiormente sicure (1).

164. Quando l' argine è molto elevato sul piano della campagna, viene verso questa rafforzato da banca; ed ove tale elevazione sia considerevole, vi si aggiunge una sottobanca. Se il terreno che ne è la base è molto permeabile in guisa di lasciar luogo in tempo di piena a notevoli filtrazioni anche con quei contrafforti, vi si aggiunge sotto il corpo di esso un' opera di *tombatura,* consistente in un ampio e profondo fosso riempito di terra tenace ben battuta.

165. Le rotte degli argini avvengono per corrosione, sormonto, sfiancamento, o sifone. Le prime sono le più terribili in tempo di piena, perchè riesce sommamente arduo l' arrestarne il progresso.

(1) Dubuat nella parte I Sezione II de' suoi Principj idraulici si estende dal cap. V al VII a trattare delle condizioni per la stabilità delle svolte nel corso de' fiumi, parlando sempre di *briccole* senza indicarne la causa. Era riservato al nostro Gregorio Vecchi, *col suo Saggio di una teoria nel corso de' fiumi nella concavità delle svolte,* di rivelare siffatta causa nella forza centrifuga della corrente costretta a moversi nella curva di tali svolte. Con calcoli ingegnosissimi egli determina l' azione tanto di questa causa, quanto della resistenza che oppone la concavità di una svolta al moto delle acque, concludendo per altro che mancano dati sperimentali onde dedurne risultamenti applicabili a casi pratici. (*Ricerche geom. ed idrom.* precitate pel 1821, Roma). Io sono d'avviso essere rarissimo il caso che s' incontrino corrosioni così dette *stabilite;* e che quando ciò avvenga, si debbano attribuire ad una combinazione fortuita per la curvatura della svolta e per la resistenza della sponda naturale, variabilissima nelle diverse sue tratte e negli stessi strati terrei che la costituiscono. Vedremo nel seguente art. XV come ne' grandiosi lavori per la sistemazione del Reno e della Garonna tale stabilità siasi conseguita mediante armature artificiali di sponda, al cui consolidamento si fa concorrere l' azione escavatrice del fiume.

Per le arginature e le opere di difesa dei torrenti del Modenese e del Po, vedasi la *Memoria* precitata sulla pianura subapennina dal § 24 al 29, e dal § 35 al 41, e per l' ultimo le Notizie nat. e civ.

Le seconde si antivengono con provvisorio alzamento dell' argine, che dicesi *soprasoglio*, al qual fine si prende la terra dalla sommità dell' argine stesso verso la campagna. Gli sfiancamenti provengono dal rammollirsi il terrapieno alla sua base per soverchia durata della piena, ed allora conviene rafforzarli con generose puntellature. Quando nel corpo dell' argine si manifesta un sifone, cagionato per lo più da talpe, e non venga fatto di turarlo tosto verso il fiume, si circonda verso la campagna con arginello di terra, costrutto in modo che l' acqua trabocchi dalla sua cresta mediante apposita doccia. Scemata così l' altezza della colonna premente, si rallenta lo sgorgo del sifone.

166. L' ampiezza della breccia di una rotta dipende sopratutto dalla differenza fra il livello della piena e quello della campagna, ed anche dalla vastità del recinto inondato, che richieda più o meno tempo a riempirsi ed a pareggiare l' altezza del fiume. Si aggiungono a queste altre circostanze. Se fra la rotta e l' alveo del fiume s' interpone una spaziosa golena, la breccia viene allargata solo per l' azione delle acque che stramazzano nella campagna, corrodendo gli estremi dell' argine troncato. Ma se questo è in froldo, anche le acque profonde del fiume risentono la chiamata della rotta e si volgono a corrodere la sponda su cui posa l' argine, il quale in breve ora si vede a tratti lunghissimi ingojato. L' aumento della pendenza del pelo d' acqua del fiume a monte per la chiamata della rotta rende assai più violenta la corrente, cosicchè s' accresce il pericolo di rotta ai froldi superiori, che avvenendo la chiameremo rotta di consenso.

167. Le rotte dei due froldi della Camillina e di Scorzarolo fra le foci dell' Oglio e del Mincio, che nel 1801 portarono l' inondazione nel Serraglio di Mantova, in tutto il territorio fra l'Adige ed il Po e nel basso Padovano alla sinistra dell'Adige, avvennero per corrosione, la prima direttamente, e la seconda per consenso. Esse avevano una breccia di 900 metri la prima, e di 500 la seconda. Nel 1839 le rotte dei froldi del Bonizzo e di Castel-Trivellino a destra, nel mezzo de' quali è posta Revere, avvenute in modo analogo, avevano una breccia di 750 metri la prima, e di 300 metri la seconda, benchè questa si fosse aperta nel dì 16 novembre, cioè quattro giorni dopo l' altra, quando il Po erasi notevolmente abbassato sotto la piena massima del dì 8. Nel 1807 le due rotte

presso Serravalle, pel buon effetto dell' interposta golena, ebbero solo una breccia di 250 metri la prima, e di 80 la seconda. Se poi alla rotta dell' argine maestro si accompagna quella di un argine di golena che gli stia di fronte, la breccia riesce ancora minore, perchè il salto dell' acqua si divide in due, e la furia della corrente vien meno. Perciò nel 1801 la rotta fra Guastalla e Luzzara si rattenne in 70 metri di breccia, e nel 1810 la rotta della Salicetta sotto la foce del Mincio si limitò ad 80 metri.

168. Negli esempi addotti delle rotte del Po la notevole altezza delle campagne sul pelo d' acqua ordinario del fiume fa sì che nell' alveo di questo continua a discendere la massa principale della piena. Ma in un fiume o torrente arginato, il cui fondo sovrasti alle laterali campagne, o sia troppo poco incassato sotto il piano di queste, la rotta del froldo avviene *in cavamento*, poichè il corpo prevalente del fiume si dirige allora in essa minacciando una deviazione di corso, ad impedire la quale si richiedono sforzi assai più imponenti. Egli è bensì vero che qualora trattisi di torrenti, la breve durata della piena influisce a moderare il danno, ma ciò non toglie che questo non risulti sommamente disastroso, e per l' estensione delle inondazioni, e pel grave dispendio richiesto a porvi riparo. Rispetto al modo di prendere, ossia chiudere le rotte, vedansi le regole date da Zendrini nel capitolo XI della sua opera *Leggi e fenomeni delle acque correnti* (2), delle quali il Cavalieri porge un sunto nel Cap. V delle sue *Istituzioni di architettura statica ed idraulica.*

169. L' inalveazione di fiumi e torrenti sopra alluvioni immature, cioè troppo depresse, attesa la considerevole altezza cui è mestieri assegnare agli argini, presenta notevoli difficoltà, che si accrescono qualora il fondo sia cuoroso e quindi instabile. Ove però sia dato di farvi precedere un generoso alluvionamento, scemeranno le difficoltà, in quanto che lo strato di alluvione interposto, qualora si allarghi simmetricamente d' ambo i lati del terrapieno dell' argine, farebbe l' uffizio di materasso per distribuirne la pressione sopra più larga base. Qualora perciò l' inalveazione fosse nuova, ho proposto di stabilire gli argini longitudinali ad una distanza doppia o

(2) Quell' opera è inserita anche nel vol. V della Raccolta di Bologna. Circa agli effetti della chiamata delle rotte del 1839, vedasi quanto è detto alla pag. 31 delle *Altre osservazioni sul Po* pag. 31, ed alla pag. 186 delle *Notizie nat. e civ.* precitate.

tripla dell'ordinaria, cui metterebbero capo arginelli trasversali. Ottenuto l'alluvionamento degli intervalli che separano questi, si avvicinerebbero gli argini principali sulle nuove alluvioni, con che si otterrebbero spaziose golene e banche, che accrescerebbero la stabilità dell'argine, allontanerebbero il pericolo di rotte, o renderebbero per lo meno queste meno disastrose, ove pure avvenissero. Secondo un tale principio si potrebbero correggere anche inalveazioni esistenti (3).

170. Rispetto alla guardia degli argini de' fiumi in piena, darò un cenno delle discipline in corso sul Mantovano. Attesa la durata e l'elevazione delle piene in quella provincia, sono destinati appositi custodi residenti in luogo, da' quali viene regolata la guardia sotto la direzione degli ingegneri di riparto, che in tali circostanze si portano sulla linea fluviale loro assegnata. Per la guardia concorrono i proprietarj dei territorj limitrofi fino ad una certa distanza, dietro compenso determinato dai regolamenti relativi. Essi, a seconda degli ordini, somministrano i giornalieri forniti degli attrezzi necessarj; i carri coperti di stuoje che servono al loro ricovero, collocandoli sopra apposite piazzette numerizzate, aderenti all'argine; ed eziandio quegli oggetti o materiali che fossero richiesti per provvedere alla difesa.

171. Mentre io era direttore delle Pubbliche Costruzioni della Lombardia, nell'ottobre 1856 diramai una circolare con Istruzioni per dare sollecite disposizioni onde attivare la guardia degli argini de' fiumi in piena. Conosciuto dalla Direzione in Milano lo stato di piena del Po presso Pavia, del Ticino all'emissario del Lago Maggiore, e dell'Adda all'emissario del lago di Como, giovandosi dell'istituzione dei telegrafi, era dato di porgerne avviso agli ingegneri in capo di Cremona, di Mantova, di Rovigo e di Ferrara quaranta o cinquanta ore avanti che vi si propagasse il colmo della piena. Essi potevano così prevederne il procedimento, e con qualche approssimazione la misura, e regolare giusta il puro bisogno la guardia degli argini e le disposizioni per la difesa; ai quali vantaggi quello pure si aggiungeva di togliere da una terribile incertezza gli animi trepidanti di intiere popolazioni (4).

(3) Veggansi la parte III della mia Memoria sull' Estuario adriatico precitata negli Art. XXVIII e XXXIII, e le *Risposte* nella successiva Appendice.

(4) Veggansi quelle Istruzioni dopo la precitata Nota finale (*D*) alla mia Memoria sulle inondazioni della Francia.

172. Coll' arginamento de' fiumi venendosi ad impedire le espansioni delle loro piene, si accresce la portata massima di queste, che discendono con maggiore rapidità. A moderare tali effetti giova lasciare fra il canal vivo del fiume e gli argini spaziose golene, che aumentano la capacità dell' alveo, rendono più facile la difesa di quelli, e scemano, come vedemmo, i danni delle rotte. In conseguenza però dell' arginamento s' accresce la forza escavatrice delle acque, che ne approfonda il letto, e ne diminuisce la pendenza, attesa l' accresciuta portata. Erroneo è quindi il fatto che in conseguenza dell' arginamento del Po se ne sia rialzato il letto al punto da riuscire pensile sulle laterali campagne, fatto asserito da illustri scienziati della Francia, che dimostrai insussistente (5).

173. Quando l' arginamento di un fiume ha luogo sopra un' alluvione immatura, deficiente della pendenza richiesta dal suo reggime, avviene allora un alzamento di fondo che può sovrastare alle laterali campagne con pericolo, come vedemmo, di rotte disastrose. Ma elevatosi il fondo stesso fino al limite della pendenza normale, esso si stabilisce senza ulteriori alzamenti.

Art. XV. — **Sistemazione del corso de' fiumi.**

174. Abbiamo veduto come talvolta i fiumi abbiano un corso serpeggiante, e come altri lo abbiano vagante con molteplici canali ed isole interposte. Il Reno sulla frontiera franco-badese da Uninga a Lanterbourg, in lunghezza di 217 chilometri, aveva quest' ultimo carattere con una pendenza media di $\frac{0,67}{1000}$. Sulla successiva frontiera bavaro-badese, in lunghezza di 116 chilometri, tale pendenza riducevasi ad un quinto, ed il fiume si aggirava in vizioso meandro. Gli ultimi due Stati, dietro i concerti presi, ne' venti anni decorsi dal 1818 al 1838 eseguirono ivi 17 tagli, ossieno raddrizzamenti, con un accorciamento di linea di 42 chilometri. I tronchi d' alveo derelitti si sono lasciati aperti all' espansione ed al deposito delle materie nelle piene; e di solito i nuovi tronchi, quando

(5) Veggansi le precitate mie Memorie sul Po e particolarmente quella del 1852, e l' altra del 1858 sulle inondazioni della Francia.

avevano acquistata la larghezza normale di circa 250m, venivano sistemati col difenderne le sponde mediante armature, ossieno rivestimenti. Talvolta decorrevano dieci o quindici anni avanti che il nuovo letto acquistasse tale larghezza. Anche nell'Assia, di fronte a Darmstadt, sarebbesi nel 1828 praticato a valle un raddrizzamento del Reno, riducendo a 3 chilom. il suo corso di 12 chilom.; ma con tutto ciò nel 1844 il nuovo taglio non era ancora sistemato in guisa di potersi praticare dai piroscafi (1).

175. Il tronco superiore franco-badese, che dapprima richiedeva un dispendio considerevole per sole difese saltuarie, venne sistemato, riducendo la corrente in un canale unico sopra tratti rettilinei uniti da grandi curve. Il relativo progetto venne steso nel 1840 dall'ing. in capo Couturat, di concerto coi tecnici badesi, e fu eseguito in gran parte col chiudere, mediante opere di fascinaggio rivestite di scogliera, i rami da abbandonarsi, riservando al loro incile una apertura sufficiente per lasciarvi entrare un corpo d'acqua atto ad alluvionarlo, e colmarlo nelle piene. Del resto, tracciato il nuovo corso con armature di sponda puramente iniziate, il canale viene escavato dalla forza della corrente, limitandosi i lavori nel nuovo alveo allo sdossamento delle alluvioni troppo elevate, ed a rafforzarne le armature. In nessun opera si dà un ragguaglio tecnico di quei lavori, che per la frontiera francese dovevano importare, giusta il preventivo, una spesa di 55 milioni.

176. Il compianto mio amico Baumgarten, che dal 1848 al 1852 diresse quei lavori, nel 1851 mi dette in dono la carta del corso fluviale in 18 grandi fogli in iscala di $^1/_{20000}$ sulla quale è tracciata l'opera di sistemazione intesa ad assegnare al fiume vagante un letto unico della larghezza di 200m a 250m. Non era ancora stabilita allora la distanza cui dovevansi collocare i nuovi argini insommergibili per contenere le piene. I tecnici francesi intendevano limitare la larghezza delle golene a 4m; ma i badesi insistettero perchè si portasse almeno a 75m. Questa operazione non potrà aver luogo se non dopo che si saranno sufficientemente colmati gli alvei rimasti derelitti.

(1) Di quei lavori dà un cenno Hagen nel suo Manuale di architettura idraulica (*Handbuch der Wasserbaukunst T. III, Königsberg* 1854, *p.* 130. Ivi si espongono le regole da seguirsi per tali operazioni.

177. Nel 1860 venne pubblicato a Strasburgo l'estratto di una descrizione generale del dipartimento del Basso Reno, il quale consiste in una pregevole Notizia stesa dall'ingegnere in capo Coumes, cui premette il seguente avviso: « La rédaction devait revêtir un « caractère descriptif, historique et statistique, plutôt que tecnique « et scientifique; n'être accompagnée d'aucun dessein; elle ne « s'adresse donc pas spécialement aux ingénieurs ». Trattandosi di lavori che si eseguiscono giusta metodi del tutto nuovi, pareva che fosse nell'interesse del Governo di farne pubblicare un ragguaglio veramente tecnico, ad istruzione dei proprj ingegneri, e pel progresso dell'idraulica pratica. Ad ogni modo quella Notizia porge dati interessantissimi, scorgendosi che fino al 1860 per la frontiera francese eransi spesi circa 17 milioni. Giusta l'esposizione della *Situazione dell' Impero* (2) a tutto il 1868 le spese sarebbero ammontate a 22 milioni e rimarrebbero a spendersi altri 15 milioni per compiere le armature di sponda, rafforzarle con scogliere, e regolarizzare gli argini insommergibili, cosicchè si risparmierebbero circa 15 milioni al confronto delle somme esposte in preventivo; cifra che non collimerebbe con quella dianzi indicata, risultandone un divario di 3 milioni.

178. I Governi di Francia, di Baden e della Baviera nell'eseguire quei lavori, come giustamente osserva l'ingegnere Coumes, non hanno tenuto a calcolo i danni che deriveranno al reggime del Reno inferiore in conseguenza della più rapida discesa delle piene. E ciò particolarmente dopo che si saranno alluvionati i rami derelitti nel tronco raddrizzato sotto Lanterbourg, e che colla erezione dei nuovi argini insommergibili pel tronco a monte fino a Basilea, si ridurrà a circa 400^{m} il letto maggiore del fiume, mentre oggidì si espande nelle piene fino agli argini in larghezza media di 2400^{m} sopra Strasburgo, e di 1700^{m} nel tronco a valle.

179. Nel § 13 della mia Memoria sulle inondazioni della Francia e nella annessa Nota finale (B), ho dato un cenno dei lavori intrapresi nel 1836 per sistemare la Garonna, armandone le sponde, e raddolcendone le svolte mediante armature di palafitti protette al piede da scogliere. Essi furono diretti fino al 1842, pel tronco attraversante il dipartimento del Lot et Garonne dal Baumgarten,

(4) *Annales des Ponts et Chaussées* 1869, sem. I.

che ne dette un interessantissimo ragguaglio nella di lui monografia della Garonna, la quale può considerarsi siccome uno de' più pregevoli lavori concernenti l'idraulica pratica (3). In quel dipartimento tali opere dovevansi eseguire sopra una linea di 55 chilometri, e se ne calcolava la spesa in 5,162,550 lire, ossia in ragione di lire 46,927 per chilometro. Si proseguirono di poi i lavori a valle nel dipartimento della Gironda, in lunghezza di altri 50 chilometri fino a Langon, ove incomincia la Garonna marittima, soggetta cioè alle maree. Di questi ultimi lavori porge una Notizia l'ingegnere Fargue sotto il titolo: *Rivières à fond mobiles; étude sur la corrélation entre la configuration du lit et la profondeur de l'eau* (4). Il problema che si propone l'autore, dapprima lo risolve empiricamente, facendosi poi strada ad una soluzione razionale.

180. Egli è indubitato che mediante quei lavori sulla frontiera francese del Reno, e sulla Garonna, essendosi rese stabili le sponde, pochissime vengono a riuscire le variazioni di corso delle acque, riducendosi esse a lievi spostamenti del thalveg nelle piene al confronto degli stati più depressi del fiume, con notevole approfondamento dei dorsi interposti a due concavità successive. Oltre alla difesa territoriale, viene così ad avvantaggiare non di poco la navigazione. È però da osservarsi che, attesa la grande pendenza del Reno da Basilea a Kehl, questa non potrà gran fatto prosperare, dovendo eziandio sostenere la concorrenza col canale laterale da Uninga a Kehl, e con due ferrovie parallele al fiume. Tale concorrenza si avrebbe pure per la navigazione della Garonna col canale laterale da Tolosa a Castet, continuativo all'antico del Mezzodì, stato ampliato; e colla ferrovia da Bordeaux al Mediterraneo. Sul Rodano inferiore da Lione ad Arles, del quale è importantissima la navigazione, malgrado la rapidità della sua corrente, si stanno pure eseguendo notevoli miglioramenti. Essi però si limitano a raddolcimenti saltuarj di svolte troppo risentite, mediante dighe longitudinali sommergibili che ne determinano il letto minore (5).

(3) Idem 1848, sem. II « *Notice sur la portion de la Garonne qui s'étend en aval de l'embouchure du Lot etc.*

(4) Idem 1868, sem. I.

(5) Idem 1869, sem. I, *Situation de l'Empire.*

181. Un grandioso raddrizzamento fu pure presso di noi eseguito sul Po da Portalbera alla foce del Lambro in lunghezza di tredici miglia sul cadere del secolo XIV, sotto il dominio di Galeazzo Visconti, opera della quale do ragguaglio nella mia Memoria sull' origine della scienza idraulica; notando come siasi conservata nella sua rettitudine pel corso di cinque secoli (6). Altri raddrizzamenti sonosi pure eseguiti verso la metà del secolo XVII dal celebre idraulico Barattieri sull' Adda a monte ed a valle della fortezza di Pizzighettone, i quali sonosi egualmente conservati fino ai nostri giorni, prova che vennero tracciati giusta i veri principj d' arte (7).

182. Siffatti raddrizzamenti non sono però ovunque vantaggiosi, poichè rispetto al reggime del fiume, si ottiene bensì un incassamento delle acque a monte, ma pressochè sempre un alzamento di fondo a valle. Essi furono salutarissimi per la nuova inalveazione del nostro Reno iniziata sul cadere dello scorso secolo dal padre Lecchi, e lo sono generalmente negli ultimi tronchi d' un fiume arginato presso le sue foci, in quanto che per tal modo viene ad incassarsi maggiormente, ed anche perchè con essi, soppressi i froldi pericolosissimi, ed assegnate ai drizzagni ampie golene, si allontana il pericolo delle rotte, ed ove pure avvengano, riescono meno disastrose.

183. Ma in altri luoghi, e principalmente ne' tronchi superiori di que' fiumi, ne possono derivare effetti perniciosissimi, anche per la scemata capacità dell' alveo, e per la più rapida discesa delle piene a danno de' tronchi inferiori. Così per esempio io dissuasi dal praticare raddrizzamenti nel corso tortuosissimo della Secchia sotto Modena, attesa la circostanza che le corrosioni nelle concavità delle svolte, protette da munienti, erano talmente stabili che pochissimo avevano variato di posto nel periodo di 160 anni. Dato da me questo consiglio al Governo di Modena nel 1847, quattro anni dopo, per ispirito di opposizione, un tecnico del luogo promosse l' esecuzione di notevoli raddrizzamenti colle più fatali conseguenze,

(6) Vedasi il § 15 e l' estesa nota che vi è apposta.

(7) Vedasi la sua *Architettura d'acque*, Piacenza 1669 lib. V, ove dà ragguaglio di tali operazioni, insieme ai precetti per eseguirle. Sulla carta topografica del Lombardo-Veneto scorgonsi le tracce degli alvei dell'Adda rimasti derelitti.

essendosi sconvolto così il reggime del fiume e rese più frequenti rotte disastrose (8).

184. Abbiamo veduto come pei fiumi più poderosi della Francia, quali sono il Rodano e la Garonna, con piene di circa 10000 m. c., e pel Reno, ove raggiungono la portata di 4500 m. c., siasi provveduto alla loro sistemazione con dighe od armature sommergibili, saltuarie sul primo, e continue, o pressochè tali, per gli altri, che ne conterminano il letto minore. Altrettanto non si è fatto per la Loira, le cui piene si approssimano alla maggior misura suindicata, essendosi limitata la sistemazione del suo letto minore a breve tratto presso Orleans (9).

185. Nella sistemazione degli altri fiumi minori della Francia si è seguito un piano totalmente diverso. Ma innanzi tutto è da notarsi che essi alla sinistra del Reno ed alla destra del Rodano e della Garonna discendono da gruppi di monti di moderata elevazione al confronto delle Alpi e de' Pirenei, e che quindi attraversano una immensa pianura pendente in generale verso nord e verso ovest. Ne consegue che per tronchi lunghissimi fino alla loro foce hanno una tenue cadente, e che trasportano materie detritiche in copia non grande. Essi, di carattere jemale, nella stagione estiva vanno soggetti a magre pronunciatissime, e per renderli navigabili si provvede mediante traverse.

186. Avanti di procedere alla indicazione di tali miglioramenti, gioverà dare uno sguardo retrospettivo alla situazione della Francia, ove il loro progresso influì non poco su quello dell'idraulica

(8) Vedasi la mia Memoria precitata sulla pianura subapennina dal § 31 al 33, e le aggiunte alle Note finali C, D. Nella Nota al § 24 delle mie Risposte agli appunti fattimi sulla III parte di quella concernente l'estuario adriatico, dimostro come il raddrizzamento di un breve tratto della Secchia presso Ramo, ove il fiume scorre vagante e variabilissimo, eseguito dietro mia proposta, non abbia a che fare coi raddrizzamenti del tronco inferiore.

(9) Sulla Loira, circa 40 anni sono, si era tentato di migliorare la navigazione con dighe di ristringimento normali alle sponde, che l'esperienza dimostrò inefficaci. Forse le dighe sommergibili longitudinali non sonosi ivi applicate al letto minore, attesa la troppo limitata ampiezza della sezione fra gli argini in confronto della portata delle piene. Quella del 1856 alla confluenza dell' Allier giunse a 9,900 m. c., riducendosi a 7,280 m. c. presso Orleans; a 6,770 m. c. a Tours, ed a meno di 6000 m. c. presso Nantes per effetto principalmente delle espansioni conseguenti alla rottura di tutti gli argini (Comoy, *Mémoires sur les ouvrage de défense contre les inondations*, Paris 1868, pag. 45).

pratica. Ristabilito colla pace del 1815 il dominio del ramo primogenito dei Borboni, tecnici distintissimi, quali furono il barone Carlo Dupin, Cordier, e Navier passarono a visitare la Gran Brettagna, e rimasero maravigliati al vedere come durante la guerra colla Francia si fossero ivi in generale perfezionate le interne comunicazioni sia colle strade, sia con nuovi canali, siccome appare dalle opere da essi pubblicate (10). Imperciocchè, seguendo il piano di Chatam, nei ventiquattro anni precedenti eransi a tal fine rivolti gli enormi capitali di quella nazione che rimanevano stagnanti per l'annientato commercio, lo che influì non poco ad accrescere la prosperità territoriale. Uscita nel 1820 una statistica delle opere pubbliche della Francia, si pose in evidenza l'infelice condizione in che si trovavano. Nei due anni successivi si emanarono leggi per porvi riparo; ma aggravato il paese dalle enormi indennità pagate alle potenze straniere dopo la loro invasione, ed alla emigrazione realista, le meschine dotazioni a tal uopo accordate non poterono sopperirvi in misura apprezzabile. Dopo la rivoluzione del 1830 si procedette con maggiore alacrità, assegnandosi colla legge del giugno 1833, una dotazione di 44 milioni per terminare i lavori di canalizzazione intrapresi in forza di quelle preaccennate (11). Le cose progredirono quindi di bene in meglio, al punto che al termine del 1865 calcolavasi essersi spesi oltre ad 800 milioni per i canali, e 225 milioni per miglioramenti della navigazione fluviale (12). Negli ultimi due anni 1867 e 1868, sonosi a tal fine erogati 31 milioni (13).

187. Dopo il 1835 si provvide alla navigazione del Lot, influente della Garonna, per l'ultimo suo tronco di 272 chilometri, costruendovi 71 traverse fisse accompagnate da conche, per la circostanza che il fiume è generalmente incassato fra sponde insommergibili.

(10) Charles Dupin, *Force commerciale de la Grande Bretagne.* Paris 1826.

Cordier, *Essais sur la construction des routes, des ponts suspendus, des barrages* ecc., *extraits de divers ouvrages anglais.* Lille 1825; Paris 1828.

Navier, *Considérations sur les principes de la police du roulage et sur les travaux d'entretien des routes, suivies d'un appendice* ecc. Paris 1835.

(11) Tarbés de Vauxclaire, *Dictionnaire des travaux publics.* Paris 1835, Art. *Canaux de navigation.*

(12) *Annales des Ponts et Chaussées. Situation de l'empire*, I sem. 1866 e 1869.

(13) Ivi, I sem. 1868-69.

Sugli effetti della diversa forma di quelle traverse ha fatti studi particolari l' ingegnere Fourniè (14).

188. Per gli altri fiumi della Francia, le cui sponde sono sommergibili, si sono pure applicate traverse, rendendole però mobili. Gli ingegneri Poirée, Thénard e Chanoine si sono particolarmente distinti rispetto all' invenzione e disposizione di tali artifizi, che da ultimo si resero eziandio per qualche parte automobili. In generale oltre ad una conca laterale ad ogni traversa per gli stati di magra, vi è un varco navigabile, la cui soglia collima col fondo naturale del fiume, annesso ad uno sfioratore con soglia più elevata, e sì l'uno che l'altro chiudonsi con quei congegni, che si rimovono in parte od in tutto coll' accrescersi la portata del fiume, ed in occasione delle sue piene. Da principio que' congegni non si elevavano sulla soglia oltre ad $1^m,50$; ma da ultimo, particolarmente sulla Senna Inferiore a valle di Parigi, si è portata la loro altezza a 3^m, ed anche a $3^m,30$. In una estesa Memoria degli ingegneri Chanoine e Lagrené del 1861, inserita negli *Annales des Ponts et Chaussèes* Sem. II, si offrono interessanti notizie storiche e descrittive di questi congegni, susseguite da calcoli per regolarne la struttura e l' uso, corroborati da esperienze. Dopo d' allora uscirono sullo stesso argomento, oltre ad una nuova Memoria di quegli autori nel secondo semestre 1868, altre tre Memorie nell' intervallo decorso (15).

189. Nella mia Memoria del 1846 sulla statistica de' fiumi, notai come il giovane ingegnere Bouniceau proponesse di migliorare la navigazione degli ultimi tronchi de' fiumi oceanici soggetti a forti maree, restringendoli fra dighe sommergibili divergenti da monte a valle (16). Tale proposizione faceva egli per la Senna e per gli altri fiumi della Francia che sono in pari condizione, partendo dal

(14) *Sur l'amélioration des rivières navigables torrentielles et encaissées. Annales des Ponts et Chaussées*, 1865, sem. I.

(15) Cambuzat, *Barrages mobiles du système Poirée et du système Chanoine*, ivi, 1867, sem. I.

Saint-Yves, *Barrages mobiles; étude comparative des divers systèmes*, ivi, 1868, sem. I.

Lagrené, *Barrages mobiles; Observations relatives*, ivi, 1868, sem. II.

Chanoine et Lagrenè, *Sur la construction des douze barrages éclusés exécutés sur la haute Seine entre Paris et Montereau*. Ivi, Memoria molto estesa.

(16) Bouniçeau, *Étude sur la navigation des rivières à marées*, Paris 1845.

fatto degli ottimi effetti ottenuti con quel mezzo sul tronco marittimo della Clyde in Iscozia, dopo avere tessuto la storia dei vari partiti che eransi tentati a tal fine.

190. Essendosi proseguite le opere di miglioramento di questo ultimo fiume fino a' nostri giorni, ne daremo innanzi tutto un cenno, ricavandolo da una interessante recente Memoria dell' ingegnere Quinette de Rochemont (17). La città di Glascow esercitava alla metà dello scorso secolo il suo commercio mediante il così detto Porto-Glascow posto sulla foce in mare della Clyde nel lato occidentale della Scozia, alla distanza di 28 chilometri, col quale porto comunicava mediante piccole barche di 30 a 40 tonnellate di portata, la cui immersione non superava un metro. Smeaton aveva proposto allora di chiudere la Clyde con una traversa accoppiata ad una conca; ma nel 1768, dietro proposta di Colborne, se ne restrinse invece il corso mediante 117 speroni perpendicolari alle ripe, dopo di che fu dato di accrescere l' immersione dei navigli fino alla misura $2^m, 56$. Non considerandosi per altro questa sufficiente, dal 1806 al 1807 vennero consultati Telford e Rennie, i quali consigliarono di legare le punte di que' speroni con dighe sommergibili continue divergenti da monte a valle, ciò che venne eseguito, dopo di che si ottenne la profondità utile di $3^m, 60$. Corrette in parte quelle dighe, ed associata ad esse l'opera di generose effossioni, fu dato di raggiungere la profondità di oltre 6^m, cosicchè nell'anno 1865-66 entrarono nel porto della città di Glascow 8617 navigli della complessiva portata di 1,383,781 tonnellate. Rimangono tuttavia a correggersi lunghi tratti di quelle dighe; dopo di che si spera di accrescere i vantaggi conseguiti.

191. L' idea di inalveare i fiumi oceanici in una specie di letto conoidale mediante dighe, sembra siasi desunta dalla condizione in che trovasi il letto del Tamigi sotto Londra. Ivi il fiume attraversava estese paludi conquistate dall'arte, mediante restringimenti del suo alveo operati senza un piano prestabilito, ma che in complesso gli hanno assegnata tale forma. Questa è favorevole al punto che, particolarmente dopo la ricostruzione del vecchio ponte di Londra, il quale per la ristrettezza della sua luce inceppava il corso delle maree, esse colà hanno oggidì una latitudine che eccede di

(17) *Mémoire sur le Clyde. Annales des Ponts et Chaussées,* 1869, sem. I, pag. 10.

quattro piedi quella che si ha a Sherness presso la foce. Alla felice condizione della medesima, deve per altro contribuire anche la notevole sporgenza della costa alla sua destra, per la quale sarebbe impedito il movimento di alluvioni ingombranti altre foci sullo stesso canale della Manica, come sarebbe quella della Senna.

192. Questa pure dopo gli effetti ottenuti sulla Clyde, venne incanalata per la parte marittima con dighe analoghe dopo il 1848 da Villequier alla confluenza della Rille, oltre la quale la diga sinistra deve protrarsi fino alla punta di Berville. Per tal modo, mentre dapprima l'immersione dei navigli dall'Havre a Rouen era al più di 3^m, oggidi raggiungerebbe $4^m,50$ ed anche 5^m, cosicchè il prezzo dei trasporti per quel tratto venne ridotto dalle 12 alle 5 lire; economia che si calcola annualmente nella somma di tre milioni e mezzo. Uno dei notevoli vantaggi che si sono per tal modo ottenuti si è la minore violenza del *mascaret,* fenomeno del quale non si è finora data una sufficiente spiegazione. Esso consiste in un'onda, che si manifesta nel flusso delle sizigie accompagnato da forte vento, la quale risale sull'asta del fiume con una velocità di 6 a 7 metri per un secondo, e con una elevazione di $0^m,60$ fino a 2^m, e pone in pericolo di sommersione i navigli (18).

193. Un provvedimento simile si è adottato con ottimo effetto per la Garonna sotto Bordeaux fino alla confluenza della Dordogna (19), ove pure si verifica un fenomeno analogo cui si dà il nome di *barre,* fenomeno che in una scala gigantesca si manifesta nel tronco marittimo dell'Amazzone, ove gli si dà il nome di *pororoca.* Anche la Loira venne incanalata sopra Nantes, ma con effetto meno favorevole, lo che si attribuisce alla troppo ristretta sezione che si è assegnata al letto del fiume (20).

194. Rispetto ai fiumi aventi foce in mari interni con tenui oscillazioni di maree, riesce assai più arduo il provvedere alla navigabilità della loro foce, particolarmente quando trasportano in copia materie alluviali nelle piene. In quanto al Po si supplisce, in modo per altro imperfetto, col sostituire ad esse quella del

(18) Lagrené, *Cours de navigation intérieure.* Tomo I, Paris 1869, pag. 100

(19) Ivi, pag. 105.

Annales des Ponts et Chaussées, 1869, sem. I. *Situation de l'empire.* La Garonna sotto Bordeaux, dopo la confluenza della Dordogna, prende il nome di Gironda.

(20) Lagrené, opera precitata, pag. 108.

ramo abbandonato a sinistra detto *Po di Levante*, accompagnata da guardiani sporgenti in mare, canale alimentato dal Tartaro, ossia Canal Bianco, e dagli scoli del Polesine, il quale comunica, alla sinistra coll'Adige e colle lagune Venete, e a destra col Po grande mediante la cosidetta Cavanella di Po (21).

195. Nel 1847 l'ingegnere Surell, partendo dai buoni effetti ottenuti con dighe di ristringimento sulla Clyde, fece una proposta simile per la foce del Rodano, ove le dighe del letto minore divergenti da monte a valle e sommergibili, dovevano accompagnarsi con arginature insommergibili convergenti. La spesa calcolavasi in tre milioni. Notava egli in pari tempo che l'incanalamento del fiume sarebbe stato mestieri protrarlo a monte fino a Pont Saint Esprit. Dubitando per altro dell'efficacia della sua proposta per uno stabile approfondamento dello scanno (*barre*), proponeva eziandio l'altro piano di un canale marittimo, che staccandosi a sinistra dal Rodano mediante conca, mettesse capo nel seno o rada di *Foz*, detta anche del *Riposo,* attesa la sua sicurezza contro i venti dominanti; e la relativa spesa la calcolava in circa quattro milioni. Egli osservava che la scelta dell'uno o dell'altro partito avrebbe dovuto farsi mediante inchiesta di soggetti pratici, ed il voto di apposita commissione tecnica (22). Non conosco quali misure siensi prese su questo particolare; ma eseguiti i lavori d'incanalamento intorno al 1852, l'esperienza provò non essersi ottenuto se non uno spostamento dello scanno al largo senza approfondamento apprezzabile. In conseguenza di ciò si è non ha guari adottato il partito di costruire il canale marittimo preaccennato, detto di Sant Luigi, il quale si sta ora eseguendo. Esso sarà lungo 4 chilometri oltre due dighe o scogliere di 1500^m, onde raggiungere nella rada la profondità di 7^m a 8^m. La sua larghezza sarà di 60^m al pelo d'acqua, e la profondità di 6^m a 7^m. La conca avrà la lunghezza di 150^m, e la larghezza di 22 (23).

(21) Vedasi la Memoria *Sul sistema idraulico del Po*, ove si dà ragguaglio del taglio veneto di Porto Viro eseguito verso il 1600, per cui rimase derelitto il Po di Levante, ramo di quello delle Fornaci allora chiuso.

(22) *Mémoire sur l'amélioration des embouchures du Rhône,* Nimes 1847.

(23) *Annales des Ponts et Chaussées,* 1868, sem. I. *Situation de l'empire.* Lagrené, *Cours de navigation intérieure* precit., pag. 122.

196. Il Danubio si scarica nel Mar Nero con tre rami, il primo a settentrione più poderoso chiamato *Kilia*, che si suddivive in otto canali; il secondo più debole detto *Sulina* con un canale unico; ed il terzo, detto di Sant Giorgio più meridionale, di una portata intermedia, pure con un canale unico ma con minore profondità alla foce. Dopo la guerra di Crimea, attesa l'importanza del commercio del Danubio col Mar Nero, particolarmente pei grani dell'Ungheria e dei Principati, si stabilì fra le potenze europee che dovesse provvedersi alla commoda praticabilità di una di quelle foci. I tecnici dell'Austria e dell'Italia opinarono in favore del canale di Sant Giorgio, allungandone la foce in mare con due dighe parallele sopra scogliera fino alla necessaria profondità (24). Nel 1858 ebbe luogo in Parigi la riunione della Commissione tecnica internazionale, la quale, dopo vive discussioni, dette la preferenza al piano di un canale staccato, mediante conca di derivazione da uno dei rami principali del fiume, da farsi sboccare in mare fino all' occorrevole profondità, fra dighe parallele (25). Ma in atto di esecuzione, sotto l' influenza del rappresentante dell' Inghilterra, venne in via provvisoria adottata la foce della Sulina già praticata dalla navigazione, e per tal modo la profondità sullo scanno sarebbesi ora aumentata dai 2^m, 80 ai 5^m, 50. L'esecuzione dei lavori incontrò qualche difficoltà circa ai mezzi finanziari, le quali sembrano appianate mediante un prestito contratto dai rappresentanti dei vari Stati; cosicchè si spera che i lavori abbiano a compiersi nel termine di quattro anni (26). Forse la minore portata di quel ramo influirà sulla durata della sua praticabilità. Che se avesse col tempo a verificarsi l' inconveniente avvenuto per la foce del Rodano, e non si trovasse allora di esporsi ad un effetto simile col ramo di Sant Giorgio, sarebbe mestieri appigliarsi al partito

(24) Vedansi: la Relazione a stampa dell'ingegnere Wex, ed il successivo rapporto del consigliere Pasetti, pubblicati in Vienna nel 1856 con dieci tavole sotto il titolo: *Les embouchures du Danube;* come pure le due Memorie del commend. Paleocapa: *Considerazioni sulla scelta di quello fra i canali del Danubio che conviene preferire* ecc. ecc. Torino 1858.

(25) *Rapport de la Commission technique internationale convoquée à Paris pour l'examen des questions relatives à l'amélioration des bouches du Danube.* Paris 1858, Chap. V, pag. 66.

(26) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1869, sem. I. *Cronique*, pag. 151. Vedasi anche Lagrené, opera precitata, pag. 122.

del canale con conca, che riconobbe preferibile anche Hagen nel suo Manuale di architettura idraulica, quantunque non dissimuli che per tal modo verrebbe ad incepparsi la navigazione nelle circostanze di grande concorso, atteso il ritardo dipendente dalla manovra della conca (27). Desjardins avendo nel 1867 visitata la località insieme col principe regnante della Rumenia, sarebbe dell' opinione che il piano più opportuno fosse quello appunto di un canale con conca derivato a sinistra del ramo principale Kilia, il quale mettesse capo alla spiaggia marina al Nord d'Imbriani, ove non scorgesi traccia di arenamento (28). Questi pochi cenni basteranno, giacchè le ultime opere qui indicate si risolverebbero in costruzioni di porti marittimi, e quindi uscirebbero dai limiti del nostro programma che concerne la sistemazione dei fiumi.

Art. XVI. — **Influenza dei diboscamenti de' monti sul reggime de' fiumi.**

197. Nella mia Memoria sul sistema idraulico del Po del 1840 ammisi senza dubitarne (pag. 51, 55 e 67), che la maggiore elevazione delle piene del Po in questi ultimi tempi dovevasi in parte attribuire ad un più perfetto arginamento, ma in parte eziandio al più esteso diboscamento de' monti. L' accresciuta portata massima delle piene per altro avrebbe, secondo me, influito ad aumentare nel Po la facoltà di trasportare la maggior copia delle torbide fino alla foce. Nelle altre osservazioni sul Po del 1843, dimostrai quanto fosse ardua l' impresa di rimboschire le pendici denudate pel bacino del Po.

198. Qual Relatore della Commissione incaricata dall' Istituto Lombardo delle scienze di riferire intorno alle Memorie di concorso al premio sul quesito d' *indicare il modo di rimboschire le pendici diboscate de' monti*, presi ad esporre nelle premesse del rapporto un sunto delle varie opinioni circa all' effetto del diboscamento de' monti, in relazione tanto al clima quanto al reggime de' fiumi, concludendo che dal degradamento delle pendici ne consegue un

(27) *Handbuch der Wasserbaukunst, Dritter Theil.* T. I. Berlin 1863.

(28) *Des embouchures du Danube de* Ernest Desjardins. *Bulletin de la société de Géographie.* T. XIV, 1867.

aumento nella portata massima delle piene, ed una diminuzione in quella della magra (1); conclusione cui sarebbe giunto pochi anni innanzi anche l'illustre Paleocapa (2). Nella Nota (42) al § 12 della Memoria del 1852 *Sui cangiamenti avvenuti nell' idraulica condizione del Po nei contorni di Ferrara,* dimostrai in quali circostanze sieno più gravi le conseguenze che ne derivano.

199. Nella mia Memoria del 1858 sulle inondazioni della Francia, premesso al § 27 un cenno sulle opinioni di quei tecnici circa agli effetti dei diboscamenti dei monti, nella Nota finale (E) passo a sviluppare con maggiore estensione l'argomento, rispetto tanto al reggime de' fiumi quanto al clima, adducendo in proposito una serie di fatti. Dimostro poi come dall'iniziato bonificamento delle lande della Guascogna mediante piantamenti, si possa raccogliere un complesso di osservazioni atte a spargere molto lume sulla questione.

200. Nella mia Memoria del 1865 *Sulla condizione idraulica della pianura subapennina fra l'Enza ed il Panaro*, la trattai al § 22, dandovi maggior sviluppo nella nota finale (C), ove dimostrai che l'aumento delle piene riscontravasi anche ne' tronchi superiori del Panaro ove non giungeva l'arginamento. Fattesi eccezioni sulle cose da me ivi dimostrate, nella recente Memoria precitata sull'Estuario Adriatico, all'Art. XXV, esposi nuovi fatti concernenti il bacino di quel fiume, ed altri concernenti il bacino dell'Adda, ove i diboscamenti sono di recente data, e gli effetti determinabili nel modo il più preciso, servendo il lago di Como quale misuratore. Notai ivi come le piene di questo, che avanti ai diboscamenti avvenivano ad intervalli di 58 mesi, si abbiano ora ad ogni periodo di 20 mesi, e come siasi accresciuta la portata delle piene massime del torrentello Perlino presso la foce dell'Adda nel lago, il cui bacino venne diboscato. Nella mia Memoria del 1863, *Altre considerazioni sulle irrigazioni della Lombardia* ecc., dimostrai pure come contemporaneamente per la stessa causa sia scemata la portata della massima magra dell'Adda lacuale. Promossi dubbi sulle mie conclusioni in relazione ad esperimenti fatti dall'ingegnere

(1) *Giornale dell' I. R. Istituto Lombardo delle scienze,* T. XIV, 1846, pag. 65.

(2) *Indizj della diminuita portata magra dei fiumi.* Memorie dell' I. R. Istituto Veneto, T. I.

Belgrand, ho provato nelle relative *Risposte*, in appendice ad essa Memoria sull'estuario adriatico, come questo distinto tecnico ammettesse pure i sinistri effetti dei diboscamenti, quando sieno operati nelle alte regioni dei monti.

Art. XVII. — **Provvedimenti profilattici per attenuare la portata massima delle piene.**

201. Nella mia Memoria del 1859 sulle inondazioni della Francia, dal § 22 fino al suo termine, ho preso in esame i rimedj profilattici proposti da quei tecnici per attenuare la portata massima delle maggiori piene de' fiumi, e per renderle meno disastrose. Oltre al rimboschimento delle pendici degli alti monti propugnato da Surell, indicai le proposte fatte da Polonceau dopo le piene del 1846, consistenti in fossetti orizzontali sulle pendici montane; in bacini di sedimento, ossia di oblimazione; in bacini di ritenuta che sarebbero laghetti artifiziali nella regione montuosa; ed in un nuovo ordinamento delle arginature. Dopo le inondazioni del 1856 vi fu pure quello delle dighe traforate proposte dal comandante Rozet, che frenerebbero, secondo lui, l'affluenza delle acque e quella eziandio delle materie da esse trascinate.

202. Avanti di analizzare gli effetti che si possono attendere da tali provvedimenti ho non solo distinti i vari stadj di una piena *in piena crescente, colma, e piena decrescente* (§ 35, e seguenti), siccome ho fatto anche al § 37 della presente Memoria, ma ho inoltre distinti gli stati delle acque di un fiume in acque *utili*, acque *neutre* ed acque *infeste*. Le prime sono quelle che si richiedono onde essere nel miglior modo utilizzabili per irrigazioni, movimento d'opifizi, e navigazione; le ultime quelle che per la loro copia eccessiva pongono in pericolo, o compromettono la difesa territoriale, e le altre quelle che soverchiano la misura delle utilizzabili, e che d'altronde non portano nè pericolo nè danno.

203. Ciò premesso, in quanto ai fossetti orizzontali richiedenti una spesa ingente per la loro costruzione, dimostro che influirebbero a scemare l'afflusso delle acque neutre, ma pochissimo di quelle del colmo delle piene, quindi con vantaggio insignificante rispetto a queste. Altrettanto avverrebbe pei bacini di sedimento, che si

risolvono in praterie irrigabili per sommersione con acque torbide, non applicabili che in date località, e che verrebbero all'atto pratico regolati secondo le vedute d'interesse privato, e non già di pubblica utilità (§ 38). Le dighe traforate del comandante Rozet, dovendosi costruire nel tronco torrentizio de' fiumi presso le loro sorgenti, in regione alpestre, ove enorme è la pendenza del fondo, pochissima influenza potrebbero avere a frenare il corso delle acque, attesa la tenue estensione del loro rigurgito. Si ha poi motivo di dubitare che esse possano conservarsi traforate; imperocchè si arresterebbero nei loro interstizi i materiali travolti dalla corrente.

204. Dai bacini di ritenuta parrebbe doversi ottenere effetti più soddisfacenti; ma la loro applicazione non andrebbe disgiunta da enormi difficoltà. Essi devono distinguersi in due classi, ossia in serbatoj ad efflusso regolato, e ad efflusso spontaneo. I primi richiederebbero l'impegno di un personale dispendiosissimo in regioni alpestri, del quale arduo sarebbe controllare l'opera che occorrerebbe per pochi giorni nelle sole circostanze di piene straordinarie, quindi ad ogni intervallo di cinque o sei anni. Gli altri, che si eseguirebbero in più generose dimensioni, non sarebbero sempre utilizzabili in totalità, attesochè i fenomeni meteorici dai quali dipendono le piene, si compiono ora sopra una parte ora sull'altra del bacino scolante. Que' serbatoj potrebbero inoltre per certe combinazioni tornare piuttosto di danno che di vantaggio quando si associasse il loro scarico al colmo della piena del fiume. E poichè la loro utilità non si verificherebbe se non in piene straordinarie, la loro azione sulle piene ordinarie, pressochè inutile, tornerebbe di non lieve aggravio alle località ove si fossero costrutti, condannando a tal uopo a frequenti sommersioni terreni pianeggianti che sono di grande valore in regioni alpestri. Calcolati per ciò gli enormi compensi che sarebbero a farsi ai danneggiati, ed il considerevole dispendio della loro costruzione, vi ha motivo di dubitare della convenienza dei medesimi. E difatti pel bacino della Loira, secondo il progetto dell'ispettore generale signor Comoy, se ne sarebbero proposti nella parte più elevata dei bacini dell'alta Loira, e dell'Allier 85, della complessiva capacità di 520 milioni di m. c., richiedenti il dispendio di 65 milioni. Al punto di congiungimento di questi fiumi, detto il Becco d'Alier, essi avrebbero potuto abbassare, giusta i calcoli del proponente, $0^{m},70$ la piena

massima del primo, ed 1^m quella del secondo, con un effetto assai minore ne' tronchi inferiori. In vista di ciò pare siasi rinunziato alla loro applicazione (1).

205. Osserva il signor Comoy che l'utilità di tali bacini sarebbe massima nei tronchi superiori del fiume a poca distanza da essi (2): Ma ivi generalmente è limitata la superficie dei terreni sommergibili, e le piene sono comparativamente di breve durata, cosicchè l'utile non sarebbe proporzionato all'entità del dispendio richiesto. Pei tronchi inferiori l'utilità sarebbe assai minore, in quanto che dal volume delle acque rattenute dovrebbesi sottrarre gran parte di quello che senza di ciò avrebbe riempito l'alveo a monte del punto ovè se ne considera l'effetto, quantità che anche nell'ordine attuale non aggrava ivi il colmo della piena, poichè si scarica nel periodo di decrescenza. Così di fronte al vasto circondario di Authion presso Saumur, della superficie di 34000 ettari, posto da 300 a 390 chilometri a valle del Becco d'Allier summentovato, l'azione di quei serbatoi verrebbe a riuscire insignificante per attenuare il colmo della piena.

206. Nella Nota (M) della precitata Memoria sulle inondazioni della Francia, ho dimostrato le grandi difficoltà cui si andrebbe incontro ove si volessero applicare alla Loira e ad altri fiumi analoghi le arginature traversali insommergibili proposte nel 1857 dall'ingegnere Vallés, sieno essi attualmente disarginati, oppure arginati. In quest'ultimo caso egli vorrebbe dar luogo all'espansione delle acque mediante un sistema di chiavichette intese, tanto ad introdurre, quanto a scaricare le acque, artificio la cui applicazione si riconobbe pressochè impossibile. Sembra che le eccezioni

(1) I dati suesposti del numero, capacità e spesa per quei bacini di ritenuta mi risultavano già dalla documentata Relazione litografata del sig. Comoy fatta al ministero, e vedonsi riportati nella mia Memoria del 1863, *Sul progetto di abbassamento delle piene del Lago maggiore*, pag. 16, come pure nella successiva del 1867, *Voto della Commissione provinciale*, pag. 26. Nella prima di esse Memorie, alla nota della pag. 6 dimostro, colla testimonianza di Plinio, non essere vero che nel bacino del Tevere i Romani avessero costrutti serbatoj di ritenuta per attenuare le piene; ma che praticavansi semplici colte sopra alcuni tributarj, onde facilitare la flottazione dei legnami. Altri di quei dati li ho poi ricavati dal recente opuscolo del sig. Comoy: *Mémoires sur les ouvrages de défense contre les inondations*, Paris 1868, pag. 80, che sarebbero una seconda edizione di altre due anteriori. Vedasi infine quanto è avvertito nell'art. XXIV, circa all'unico serbatojo costrutto sul Furens affluente della Loira.

(2) Ultima Memoria precitata, pag. 83 e 108.

fatte su quel piano siensi riconosciute attendibili, inquantochè dopo le straordinarie inondazioni della Francia del 1866 non se ne vede più fatto alcun cenno.

207. Giusta la riserva nella quale ci siamo tenuti al § 159, ove incominciammo a parlare degli argini, intorno ai quali abbiamo successivamente esposto quanto si è praticato ed è in corso nei fiumi dell'Alta Italia, porgeremo ora un sunto delle varie opinioni che intorno alla loro efficacia pubblicarono i tecnici francesi. Al § 24 della Memoria sulle inondazioni della Francia ho notato come l'ingegnere Dumont, che nel 1842 venne a visitare i fiumi della Lombardia, ed al quale comunicai i miei scritti pubblicati a tutto il 1844, nel 1848 ne porgesse un estratto, stralciandone però le parti ove si dimostrava non essere vero che per effetto dell'arginamento del Po si vada progressivamente elevando il fondo del suo letto. Egli invece ammetteva questo fatto, notando che gli argini insommergibili sono per il Po una necessità, attesa la depressione del livello delle campagne, e non aggiungeva l'altra circostanza assai più grave di doversi difendere queste dalle piene estive che senza di ciò ne impedirebbero la coltivazione. Conchiudeva poi egli col considerare per siffatte cause il Basso Po in una condizione verameute allarmante. L'anno precedente per altro il mio amico Baumgarten, nell'estratto precitato delle mie Memorie, conveniva nello stabilimento del fondo del Po, meno nell'ultimo tronco presso le foci; lo che si è di poi da me comprovato con nuovi fatti esposti nella Memoria del 1852 *Sui cangiamenti* ecc.

208. Dal 1859 al 1861 venne pure a visitare i fiumi dell'Italia l'ingegnere sig. Dausse, del quale aveva preso ad esaminare le opinioni nei § 26, 30, 42 e 46 della stessa Memoria sulle inondazioni della Francia. Anteriormente alla sua venuta in Italia egli avrebbe stabilito che non si danno argini *insommergibili;* poichè, rialzandosi continuamente il livello delle piene, esse finiscono sempre per soverchiare quelli reputati tali, colle più disastrose conseguenze. Conchiudeva egli perciò che fossero preferibili argini sommergibili che lasciassero libero il campo alle espansioni delle piene, dalle deposizioni delle quali vengono, secondo lui, fecondate con somma utilità le laterali campagne. Gli studi da lui fatti di poi sui fiumi dell'Italia non avrebbero modificata questa sua opinione, considerando *non invidiabile* la condizione delle nostre pianure

arginate. Su questo particolare così si esprime in un recente suo scritto pubblicato nel 1867 in seguito alle inondazioni del 1866, avvenute in Francia (3).

209. « Aucune des nos vallées, en effet, ne ressemble à la « basse vallèe du Po; la vallée de la Loire nommément, n' est « guère qu'un long sillon partout fort étroit comparativement à la « plaine italienne. Qui l'a d'ailleurs explorée cette plaine célèbre, « sans trouver sa situation pleine d'inconvénients graves et de « dangers, plutôt qu' enviable! Que de terres basses, maréca- « geuses et de vrais marais pestilentiels! Que d'affluents ou de « rivières latérales suspendus entre de simples digues de terre « menue et peu cohérente à des hauteurs éffrayantes, allant à « 9, 10 mètres, et jusqu' à 13 mètres pour le Reno à Malalbergo ». Segue il voto di lui che venga sollecitata l' immissione di questo nel Po.

210. Se il signor Dausse avesse spinti i suoi studj ai dati statistici sulla pianura del Po protetta dagli argini principali, non avrebbe sicuramente conchiuso per dichiararla in una condizione compassionevole, siccome sarà agevole dimostrare col calcolo che segue. Fatta per ora astrazione dal tronco del Po a monte di Cremona, ove le arginature costituiscono gruppi staccati che si conservavano in addietro da consorzi locali, e del delta del Po a valle della diramazione del braccio di Ariano, per non considerare se non il solo tronco difeso dall'arginatura maestra principale ed i terreni coltivi fra la destra dell'Adige e la sinistra del Reno, ne risulta una superficie protetta da argini detti *insommergibili* di 4600 chilometri quadrati, ossia di 460 mila ettari. Quell'arginatura maestra pel tronco di 85 chilometri da Cremona alla foce dell' Oglio, non venne rotta nello scorso secolo se non nel 1705; e se essa in un punto soggiacque di poi a rottura nel 1868, ciò fu effetto di un sifone non riparato a tempo. Le rotte avvenute in questo secolo in quelle arginature sopra una linea fluviale di 230 chilometri, in quattro volte dal 1801 al 1812, ed in due volte posteriormente, furono sempre effetto di corrosione o di qualche sifone, ma non mai di soverchiamento d' argini, cosicchè non si

(3) *Réponse au rapport de M.r Békic ministre* ecc. *sur les inondations,* Bruxelles 1867, pag. 37.

può rifiutare per esse la qualifica d' *insommergibili.* Altrettanto può dirsi delle arginature consorziali dalla foce del Ticino a Cremona, di quelle di alcuni affluenti inferiori inalveati troppo precocemente sopra alluvioni immature, e di quelle dei fiumi delle provincie venete, la cui rottura di solito avvenne pure per corrosione, o per effetto di sifoni, ma qualche volta eziandio per tracimazione, in quanto che non si erano talora abbastanza elevate le prime dalle società consorziali per difetto di mezzi.

211. Con quel sistema di arginature per altro si proteggono 12000 chilometri quadrati, ossieno 1,200,000 ettari di terreni coltivi, il cui prodotto lordo, calcolato nella moderata misura di franchi 180 all'ettaro, corrisponde annualmente a 216 milioni. Ammesso pure che le spese di manutenzione, e sorveglianza, ed i danni di rotte che avvengono in qualche luogo ad ogni intervallo di quattro a cinque anni si abbiano per termine medio a calcolare annualmente in dieci milioni, rimarranno ancora di utile 206 milioni, somma che non è di lieve momento, e risguarda puramente la produzione del suolo. Che se si pongano a calcolo i valori dipendenti dall' accresciuta ricchezza territoriale, sia per erezione di innumerevoli borgate e di città, sia pel commercio e per l' industrtria, non si andrà molto lontano dal vero accrescendo questa somma di un sesto, con che si porterebbe a 240 milioni. Con ciò sarebbe provato che la bassa pianura sommergibile dell'Alta Italia, protetta dalle così dette arginature *insommergibili,* non si trova nella condizione compassionevole che le attribuirebbe il signor Dausse, il quale, malgrado i suoi studi locali, non avrebbe rinunziato ad un' idea preconcetta. Al certo incontransi terreni vallivi e talvolta palustri, particolarmente nelle più basse regioni che sono appendici dell'estuario adriatico; ed ivi l'aria non sarà ovunque salubre; ma devesi considerare che la più parte di quel terreno fu conquistato sul dominio delle acque, e che anteriormente era un aggregato di paludi. Fra i terreni coltivi suindicati però non esistono vere paludi; e quelli vallivi che vi sono interposti non giungono ad un trentesimo dei primi, e devono in breve sparire con opere di bonificamento in corso di esecuzione. Se quei terreni non si fossero protetti con argini *insommergibili* contro le piene estive, essi sarebbero un complesso di boschi per la parte più alta, e di paludi per quella più bassa, il cui reddito non raggiungerebbe il decimo di quello dianzi

calcolato, ed in tale stato di natura anche la salubrità dell' aria non avrebbe al certo avvantaggiato. Qualunque sia in proposito l' opinione del sig. Dausse, nessuno sicuramente, dopo le premesse spiegazioni, sarà per censurare il grandioso piano attivato dai padri nostri avanti che presso di noi nascesse la scienza delle acque.

212. Ai §§ 30 e 46 della mia Memoria sulle inondazioni della Francia, dopo avere dimostrato che l'aumento di forza escavatrice pel ristringimento dell' alveo d' un fiume non è principio nuovo, come supponeva il signor Dausse, ma che era ammesso da secoli dall' idraulica italiana, fo osservare come non se ne potesse attendere un effetto nella misura da lui indicata, che consideravasi esagerata, qualora si applicasse al Rodano a monte ed a valle di Lione, ed all' Isère a valle di Grenoble, giusta le sue proposte di restringere il loro alveo con argini trasversali sommergibili. In una nuova Nota comunicata nel dicembre 1861 all' Accademia delle Scienze, dopo essere ritornato, come egli dice, dall' Italia, ove pel corso di tre anni si è dedicato ad esplorazioni e studi *su quella terra classica dell' idraulica*, sottopone a critica la proposta del signor Comoy dei bacini di ritenuta per la Loira. E rispetto alla conservazione de' suoi argini insommergibili, premesso che ove in mancanza di questi sono libere le espansioni delle piene, si alza tanto il fondo dell' alveo, quanto il livello delle campagne laterali con una legge armonica, aggiunge: « Or « l'endiguement insubmersible rompt cette harmonie; il rend im- « possible l'exhaussement graduel de la plaine en modifiant l'ex- « haussement du lit, mais sans l'empêcher, *et en le hâtant au* « *contraire* .... » Per verità non si sa comprendere come dai semplici argini trasversali che lasciano libera l' espansione delle piene si debba pel Rodano e per l' Isère conseguire un notevole abbassamento, e dagli argini insommergibili della Loira un alzamento di fondo.

213. Il signor Comoy che nel 1860 venne a visitare per pochi giorni l'arginamento del Po, ebbe ad ammirare, sia la grandiosità della scala colla quale venne eseguito a difesa dell' immenso territorio che protegge, sia la razionalità e semplicità de' metodi coi quali ne viene regolata la conservazione. Ed in due pregevoli Memorie allora pubblicate instituisce un parallelo fra tali argini

e quelli della Loira (4). Altrettanto egli fa nella nuova Memoria precitata del 1868, ove espone concetti giustissimi circa all'arginamento de' fiumi, in relazione al livello ed all' estensione delle laterali campagne sommergibili, come pure alla stagione delle piene. Egli mostrasi d' avviso, rispetto alla Loira, che anche pei tronchi inferiori, ove esistono già arginature alquanto elevate, possano essere opportuni i serbatoi, ossieno bacini di ritenuta, siccome semplice complemento di difesa. In ciò non potrei convenire pei motivi esposti ai §§ 204 e 205 di questa Memoria. Dopo le inondazioni del 1866 una Commissione superiore d' ispettori generali avrebbe concretato nell'Aprile 1867 un piano col quale, rinunzierebbesi ai bacini di ritenuta, piano che non viene indicato dal signor Comoy. In un recente articolo dell' Ingegnere Jollois se ne vede dato un cenno, e sembra consistere nel permettere l' espansione delle maggiori piene della Loira nei circondari arginati, regolandola con un sistema di sfioratori d' immissione e di scarico delle acque, rispetto ai primi de' quali quell' ingegnere offre calcoli idrometrici (5). Egli però non porge una indicazione di quel piano che basti per formarsene un' idea adequata, cosicchè mancano i dati per sottoporlo ad esame. Che anzi da atti ufficiali recentissimi risulterebbe non essersi finora concretato alcun piano per proteggere nelle maggiori piene della Loira le campagne che ne rimangono inondate (6).

214. Il mio amico Humphreys, incaricato di proporre il modo più conveniente di proteggere dalle inondazioni le alluvioni del Mississippi, vi corrispose, come dicemmo, colla magnifica monografia di quel gran fiume. Dopo avere preso in esame vari sistemi proposti, e cioè, i tagli, o raddrizzamenti delle frequenti svolte, la diversione dei tributari, i serbatoi, ossieno bacini di ritenuta, i diversivi, termina col proporre l'arginamento insommergibile analogo

(4) *Quelques renseignements sur le Po* ecc., *Annales des Ponts et Chaussées*, 1860, sem. II. — *Considérations sur l'endiguement des rivières*, Paris 1861.

(5) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1869, sem. II.

(6) Leggesi difatti nel fascicolo di gennajo 1870 degli *Annales des Ponts et Chaussées* (estratto della *Situation de l'empire*) rispetto alla Loira: « Quant aux travaux de pro« tection des vals, ils soulèvent des nombreuses difficultés; un grand nombre de projets « préparés par les ingénieurs ont été soumis aux enquêtes et ont soulevé des objec« tions de diverses natures; la mise à exécution de ces projets ne pourra être com« mencée qu'après une instruction très-complète et avec l'assentiment et le concours « des populations intéressées. Ces études et l'instruction se poursuivent. »

a quello de' nostri fiumi. E siccome anche in America erasi diffusa l' opinione di escludere un tale metodo pel supposto conseguente alzamento del loro fondo ammesso in Francia, egli si appoggia ai fatti da me esposti per dimostrarne l' insussistenza. Con calcoli ingegnosissimi poi determina approssimativamente il livello cui si porterebbero le piene, ove il fiume fosse contenuto da argini insommergibili; e siccome il massimo alzamento si avrebbe in prossimità del lago *Providence,* propone ivi per esse un diversivo che scarichi per termine massimo 2830 m. c., con che si riprometterebbe di ottenere un abbassamento di piena di 3 piedi (7).

Art. XVIII. — **Bonificamento dei terreni.**

215. Il bonificamento dei terreni ha per iscopo di accrescere la produzione del suolo e di risanare l' aria a benefizio delle popolazioni, e preso in senso lato, comprenderebbe tanto l' arginamento de' fiumi, quanto le irrigazioni. Del primo abbiamo parlato agli Art. XIV e XVII, e delle altre ci riserviamo di discorrere più avanti, limitandoci ora a quella parte di bonificamento che risguarda le operazioni intese ad impedire che sui terreni ristagnino le acque, ed il miglioramento dell'aria. Esso può praticarsi per essiccamento, per colmata, e talvolta in quanto all' ultimo oggetto, per sommersione. L' essiccamento dei terreni si consegue con canali scoperti, detti colatori, ed anche con canaletti sotterranei; nel qual caso l' operazione chiamasi *drenaggio,* ossia *fognatura limpida,* a differenza di quella *immonda* delle città. Ciò ha luogo lorchè vi ha sufficiente pendenza nel terreno per lo scarico continuo, od intermittente delle acque fino al loro recipiente per sola forza di gravità. Ove manchi tale pendenza, e siavi il prezzo dell'opera di essiccare il terreno, lo si fa con macchine idrofore, ed in tal caso chiamasi *essiccamento meccanico.* Quando la pendenza possa ottenersi colle deposizioni di un prossimo fiume o torrente, il bonificamento chiamasi allora *per colmata.* Che se questo provvedimento fosse impossibile o di soverchio dispendio, si può conseguire il risana-

(7) Vedansi la monografia del Mississippi, Cap. VI, e la Relazione del Messedaglia, art. VI, precitate.

mento dell' aria anche per sommersione, col mantenere invasate le acque nello stagno in guisa che nella stagione estiva abbiano a coprire in sufficiente altezza le gronde palustri. Nel cap. V delle *Notizie naturali e civili* precitate si sono esposte le norme secondo le quali sono regolati col primo metodo di semplici canali gli scoli della bassa valle del Po, che ora richiameremo; dopo di che porgeremo un estratto della parte descrittiva di taluni di essi.

216. « Gli scoli naturali si distinguono a prima vista dagli arti« ficiali, perchè quelli hanno corso serpeggiante, e questi rettilineo. « Quando i canali percorrono una pianura elevata sulle piene del « fiume in cui si scaricano, sono per lo più incassati ed hanno « foce libera. Ma se il territorio circostante è basso e ricinto d'ar« gini, nel procacciare pronto sfogo alle acque, è necessario prov« vedere in pari tempo e con vari artifizi alla difesa. Se il canale « ha copiose acque scendenti da terre elevate, sicchè possano su« perare sempre il livello del fiume in piena, gli si dà scarico a « foce libera, e si accompagna nella parte più bassa del suo corso « con argini che poi si congiungono a quelli del fiume. Ma se « men copiose sono le acque, e provengono da luoghi bassi, il « canale dove interseca l' argine per mettere foce nel fiume, vien « munito d' una chiusa o *chiavica*, la quale a differenza di altre « simili si chiama *maestra*.

217. « Ne' territori ove gli scoli vennero regolati colle migliori « norme dell' arte, si ebbe cura di tener separate le acque deri« vanti dai luoghi bassi e quelle che provengono dai più alti, con« ducendo queste lungo la parte più rilevata del piano, in cui « possono rimanere incassate senza bisogno di apposite arginature. « Ove non abbia luogo tale segregazione, le acque di più alta pro« venienza sono d'ingombro a quelle dei terreni inferiori. Le acque « dei territori depressi si raccolgono in un *canale maestro* che ac« compagna quasi parallelo il corso del fiume, per mettervi poi « foce nel punto più basso che si possa raggiungere. Queste de« pressioni o conche sono quelle cui mettono capo a foggia di « spalto i controforti naturali del fiume formati dalle sue deposizioni « avanti al suo arginamento. Se per rinvenire un punto di scarico « abbastanza depresso è mestieri intersecare il corso di altro ca« nale più elevato o di un fiume confluente, vi si fa passar sotto « il canale mediante botte sotterranea.

218. « Il canale maestro riceve nel suo corso altri canali se-
« condari, e si quello che questi, ove la depressione dei terreni
« lo richieda, sono muniti di argini di tale altezza che basti a
« contenere le maggiori piene, quando sieno chiuse le chiaviche
« maestre. Perchè poi le acque interne non vadano ad accumularsi
« nei luoghi più bassi, e quelle del canale maestro non abbiano
« a rigurgitare nei canali secondari, questi si muniscono parimenti
« al loro sbocco di chiaviche, le quali si tengono chiuse finchè
« l'abbassamento della piena del fiume non permetta di aprire la
« chiavica maestra, e non sia già scaricata parte delle acque in-
« feriori. Il trattenere così in tempo di piena le acque entro i
« singoli quartieri, ove si conservano elevate nei loro canali, vale
« eziandio a scemare l'affluenza delle acque di scaturigine, le quali
« concorrono ad accrescere la copia delle acque interne. Gli ar-
« gini dei canali di scolo giovano a raffrenare lo spandimento
« delle acque d'inondazione ed a diminuirne i danni. Quando le
« acque naturali o condotte si dirigono in soverchia quantità verso
« terre basse, vi si suole recar sollievo rivolgendone parte altrove
« con canali diversivi, de' quali più avanti addurremo qualche
« esempio. Se un colatore di acque basse ha comune lo scarico
« mediante chiavica maestra con altro di acque alte, occorre mu-
« nire il primo di chiavica interna che lo tenga separato dall'altro
« finchè l'abbassamento della piena del fiume permetta lo scarico
» contemporaneo d'amendue.

219. « Per conservare attivi i canali di scolo è mestieri tenerli
« sempre espurgati dai sedimenti, massime nell' estremo loro
« tronco al di fuori delle loro chiaviche maestre, che si chiama
« *canaletta* o *mandracchio*, e resta ingombro dai depositi del
« fiume. Laonde quando la canaletta sia molto lunga e riesca
« difficile tenerla sgombra, si suol munire presso lo sbocco con
« una *contro-chiavica* destinata solo ad impedire l' ingresso alle
« torbide. Le materie estratte servono a rimarginare gli ar-
« gini. Lo spurgo (sterramento) massime della canaletta, si fa
« molte volte coll' opera delle acque stesse, trattenute prima
« colle paratoie delle chiaviche, oppure con chiuse posticcie che
« subitamente si aprono, e si aiuta l' operazione col far sommo-
« vere a mano d' uomini le materie da espellersi. A quest' uopo
« occorre anche *diserbare* o *sgherbare*, ossia recidere le erbe

« che nascono sul fondo del canale, il che si fa una o due volte « all'anno.

220. « Le platee delle chiaviche maestre si stabiliscono ad un « livello dipendente da quello delle terre più basse che vi devono « avere lo scolo, e per lo più si pone a livello della magra ordi« naria del fiume. Si dividono talvolta in più luci proporzionate « alla copia delle acque che devono scaricare; si chiudono con « paratoie verticali, che colla sommità loro adeguano il piano su« periore dell'argine, e si muovono in incastri di sasso (gargami), « ed a norma della maggiore o minore altezza, che talvolta è di « oltre 9 metri, si compongono di uno o più pezzi.

221. « Ove la luce sia molto larga, si sostituisce alle paratoie « una serie di travi orizzontali sovrapposti, che chiamasi *travata*. « Molte chiaviche del Mantovano a maggior sicurezza sono fornite « di doppie paratoie, o doppie travate; e qualora per l'elevazione « o durata della piena trapeli molt'acqua, si riempie l'intervallo con « lettame battuto. Al di sopra della chiavica si costruisce una ca« sella, nella quale si opera il maneggio delle paratoie; ed in caso « di piena vi trovano ricovero gli uomini di guardia. Alle chiaviche « principali poi si aggiunge di solito una casa per soggiorno del « custode e per riporvi quanto occorre in occasione di piena. « Tutti gli scoli naturali od artificiali della Lombardia sono diretti « al comune recipiente del Po, od agli immediati loro tributari « presso la loro foce, ove il corso di quello sia molto variabile e « possa minacciare la rovina della chiavica ».

222. Dopo queste norme generali siamo passati a descrivere i colatori della Lombardia, dal Ticino al Mincio, ed a sinistra del Mincio, quindi nell'oltrepo Mantovano. E poichè in quelli del Cremonese fra l'Adda e l'Oglio se ne trovano de' particolari col carattere di diversivi, siccome abbiamo di già notato, ne porgeremo un cenno, attesa la singolarità di tali opere.

223. « Le rive del Po al di sotto di Cremona si congiungono « insensibilmente all'altipiano senza alcun rilievo di costa; per lo « che tutta la parte più bassa di quelle terre venne difesa col « primo tronco dell'argine continuo del Po, il quale rimonta anche « lungo l'Oglio sino a fronte della foce del Chiese. La grande af« fluenza delle acque interne che in tempo di piena non potevano « più sfogarsi nel Po, consigliò a deviarne con canali diversivi

« una gran parte, e quindi verso l'anno 1300 si scavò la *Tagliata,* « la quale prese anche il nome di *Delmona,* che davasi al colatore « principale che veniva deviato, accompagnando l'antica Via Po- « stumia da Cremona a Mantova fino a sboccare nell' Oglio sotto « Calvatone. Ivi ha foce libera, arginata al solo suo estremo fra « l'altipiano e l'argine del fiume. Dal principio di quel colatore a « Cremona, le acque vennero dirette al Po col canale Fossadone, « pure a foce libera.

224. « Ma quando vaste irrigazioni, con acque ricavate partico- « larmente dall'Oglio, ingrossarono la massa di quelle che dall'alto « Cremonese defluivano al basso, i suddescritti provvedimenti più « non bastarono. Laonde intorno alla metà del secolo XVI si « scavò da Cremona all'Oglio nella direzione di Brescia un canale « diversivo a duplice pendenza, che prendendo il suo punto di « partizione ai Brazzoli, si dirige con un ramo a foce libera nel- « l' Oglio presso *Grimone,* da cui prende il nome, e coll' altro « ramo sotto il nome di *Cavo di Robecco* costeggia la strada Bre- « sciana fino ai sobborghi di Cremona; entra in una fossa di « circonvallazione detta il *Cavo Cerca,* e quindi nel Cavo Morta che « arginato sboccava a foce libera nel Po a 9 chilometri al disotto « della città. Sul terminare dello scorso secolo si aggiunse a questo « canale presso Cremona uno scaricatore con chiavica, il quale « deviando parte delle acque cagionò poi l'interrimento del tronco « inferiore che divenne pressochè inutile. Lo scolo raggiungendo « il Po in un punto più elevato divenne difficile; onde con sommo « danno dei terreni suburbani si accrebbe l'altezza dei rigurgiti « del Po.

225. « Siccome questi due cavi, che si diramano dai Brazzoli, « attraversano la pianura cremonese dall' Oglio al Po, così tutte « le acque vive che dalla parte superiore della provincia scorrono « nell' inferiore, sono costrette a sorpassarli con ponti-canali. « Questi avendo determinate dimensioni, tanto per la larghezza « della luce, quanto per l'altezza delle sponde, lasciano traboccare « in quel passaggio tutte le acque esuberanti, che pel sottoposto « canale si scaricano o nell'Oglio o nel Po. Per tal modo la parte « inferiore del territorio non riceve acque oltre la prefissa misura; « anzi, nel caso d' abbondanti piogge, che rendono superflua l' ir- « rigazione, quei canali si chiudono, e le acque si sviano del tutto

« coll'aprire uno scaricatore laterale di fondo ». Si ha motivo di credere che non siavi altro esempio di un diversivo cotanto ingegnoso.

226. Nell'art. X della presente Memoria si è dato un sunto dei grandi bonificamenti operati alla destra del Po sotto Piacenza, e dei miglioramenti che rimarrebbero ad eseguirsi con riferimento in particolare alla mia Memoria sulla pianura subapennina del 1865 ed alla parte III di quella del 1868 sull' Estuario Adriatico. Per gli scoli a sinistra del Po nelle provincie venete sarebbero a consultarsi le *Memorie d' Idraulica pratica* dell' Illustre Paleocapa (1), ove nella I richiama le proposte da lui fatte pel chiudimento del Castagnaro, diversivo delle piene dell' Adige, e nella II espone i risultamenti ottenuti da tale operazione eseguita nel 1835, pel miglior reggime del fiume; ed in particolar modo per impedire gli interrimenti del Canal Bianco, arteria principale degli scoli del Polesine di Rovigo. Conseguitosi quest'ultimo effetto, ed agevolatosi il modo di bonificare le valli grandi Veronesi, si istituirono a tal uopo i consorzi d' interessati e nel 1854 venne pubblicato un regolamento per l'esecuzione del piano predisposto. Nella III di esse Memorie susseguita da Note e da Appendice, prende egli in esame quel piano indicando le modificazioni che gioverebbe introdurvi onde raggiungere lo scopo cui è inteso.

227. Nell' anno 1859 il Paleocapa emise il suo parere sul progetto concretato dagli ingegneri Bucchia e Monterumici per la bonificazione dei consorzi Padani nel territorio compreso fra la sinistra del Po ed il Tartaro, o Canal Bianco fino al sostegno Bosaro (2). Intorno a questo piano lo stesso Paleocapa, qual direttore delle pubbliche costruzioni, fino dal 1845 aveva proposte le norme da seguirsi per siffatta operazione. In consonanza a tali norme si è ora pubblicato un Sunto del progetto degli ingegneri Martelli e Giannini per la bonificazione del circondario inferiore di quei consorzi da Occhiobello alla fossa Polesella, cui va annesso un pregevole parere del chiarissimo professore Turazza (3).

(1) Venezia, presso Antonelli, 1859.

(2) Rovigo, presso Minelli.

(3) Bologna, 1870, Tipografia degli agrofili italiani.

228. In quanto agli scoli veronesi e padovani a sinistra dell' Adige, il Paleocapa fino dal 1836 aveva steso un Piano per la regolazione dei fiumi Guà e Frassine e per le bonificazioni delle paludi comprese nei consorzi che scolano in Fratta e Gorzon, Piano che nel 1863 venne pubblicato nel *Giornale dell'Ingegnere Architetto*. Successivamente il consigliere ministeriale Pasetti avrebbe proposto altro Piano, col quale il torrente Guà sarebbesi divertito dal Frassine per unirlo al Chiampo, e confluire con questo nell' Alpon, e quindi nell' Adige. Contro tale modificazione emise un voto il professore Bucchia (4), e lo stesso Paleocapa al Piano Pasetti avrebbe aggiunta una serie di osservazioni colle quali ne oppugna l' opportunità (5). Trattandosi di questioni involute che richiedono una perfetta cognizione delle circostanze locali a me non note, mi sono astenuto dal trarne un sunto, e dall' emettere un giudizio sul merito di tali proposte, e sui punti controversi, considerandomi incompetente a pronunziarlo. Anche senza di ciò ho reputato opportuno di citare quegli scritti perchè possano studiarsi, particolarmente da chi è in condizione di trarne maggior profitto siccome edotto delle località cui si riferiscono.

229. Le Memorie dianzi indicate risguarderebbero i bonificamenti per essiccamento naturale, operati, o da compiersi nei bassi terreni dell'Alta Italia. Nelle regioni meridionali di essa la più grandiosa di tali operazioni risguarda le Paludi Pontine, antica laguna del Mediterraneo, stata imperfettamente colmata dai fiumi che in essa si versano fra Cisterna e Terracina, ove nel suo mezzo è intersecata dalla celebre Via Appia. Avendo quella palude offerto occasione di studi locali all'illustre Prony, che ne fece argomento della dotta sua Memoria; *Description hydrographique et historique des Marais Pontins,* corredata di Atlante (6), ne porgeremo un breve estratto.

230. Presa per asse della palude la Via Appia, discendevano in essa, alla sinistra i fiumi Scaravazza, Amazeno ed Uffente; superiormente quelli di Sermoneta e della Teppia, torrentizj cui è interposta la Ninfa d'acque chiare; ed alla destra il fosso di Cisterna,

(4) Verona, presso Vicentini e Franchini, 1863. — Milano, *Giornale dell' Ingegnere Architetto,* 1864.

(5) Nello stesso Giornale del 1865 si è inserito il Piano Pasetti colle successive osservazioni del Paleocapa.

(6) Paris 1822.

ed una serie di rivi che partono dalla duna o *Macchia* dello stesso nome. La superficie scolante dei vari bacini, in parte montuosa, ossia in alture, e colli, si calcola di ettari 130261, e quella dei terreni da bonificarsi di ettari 30329. Avanti al 1777 parecchi pontefici avevano fatto eseguire opere di non lieve importanza onde incanalare le acque di quei fiumi parte a destra e parte a sinistra della Via Appia. Sembra esservi pure stato il tentativo di aprire alle acque superiori un emissario chiamato *Rio Martino*, diretto al mare, che non sarebbe riuscito, attesa la notevole profondità della trincea da escavarsi nella sabbia della duna.

231. Dopo quell'anno Pio VI s'impegnò nell'intraprendimento di lavori in una più grande scala, valendosi dell'ingegnere bolognese Gaetano Rapini. Questi deviando dalla regola preaccennata di separare le acque alte dalle basse, escavò sotto il nome di *Linea Pio,* a destra e di fianco alla Via Appia un grande canale destinato a raccogliere, non solo le acque della bassa pianura, ma eziandio quelle superiori, allacciate nella così detta *Cavata,* aggiungendovi anche quelle della Fossa di Cisterna. Il nuovo canale collettore doveva sboccare nel così detto Portatore di Badino, ove mediante il Ponte Maggiore, attraversante la Via Appia, stato riaperto, venivano a scaricarsi le acque torrentizie de' fiumi Uffente, Amazeno, e Scaravazza insieme alle fosse della bassa pianura sinistra, dette della Selcella e della Schiazza (7).

232. Ebbesi per altro a manifestare ben presto l'inattendibilità di quel piano, e perciò le mentovate acque superiori del Fosso di Sermoneta, della Ninfa, e della Teppia, si divertirono dalla nuova linea, restituendole a destra della Via Appia al fiume Sisto, che qual canale di cinta, parallelamente alla macchia di Cisterna, discendeva verso mezzodì fino in prossimità del mare presso la torre di Olevola per metter capo mediante il fiume delle Volte nel Portatore di Badino, ove questo ha foce in mare. Mentre si compivano i lavori con un piano per tal modo modificato, nel 1787 avvenne una piena che non potè contenersi nella nuova inalveazione delle

(7) Il Piano del Rapini venne pubblicato nel Tomo VII della Raccolta degli autori idraulici di Bologna. Lo stato della palude cui si riferisce è indicato nella Tav. II dell'atlante di Prony, ove nella Tav. I è rappresentato l'intero bacino scolante, con altri adjacenti fino a Roma. Vedasi anche il foglio H 17 della grande carta topografica dell'Italia Centrale.

acque superiori, particolarmente rispetto alla Teppia, che disalveò, e di poi non venne regolata nel suo corso. Taluni credono che quella disalveazione fosse procurata dallo stesso Rapini per rimovere un influente cotanto incommodo, e che si conservasse in siffatta condizione coll' idea di colmare mediante le sue torbide le circostanti depressioni, le quali potevansi d' altronde bonificare anche per essiccamento, trovandosi ad oltre 9^{m} sopra il livello del mare. L' Amazeno fu portato a colmare il così detto *Pantano d' Inferno*, per riunirlo di poi all' Uffente che si è condotto con nuova inalveazione a formare un canale di cinta della bassa pianura sinistra da bonificarsi. E per facilitare lo scolo tanto di questa che della parte destra si attraversarono entrambe con fossi colatori normali alla Via Appia ad ogni distanza di un miglio, segnata dalle lapidi migliarie. I canali della Selcella e della Schiazza a sinistra, e della Botte a destra, vennero condotti parallelamente alla Via Appia, attraversando tutti i detti fossi colatori normali dei quali abbreviavano così la soverchia lunghezza. Dall'estremo superiore del Portatore a Terracina venne a destra della Via Appia escavato un canale di navigazione. I lavori eransi intrapresi dal Rapini nel 1778, dietro un preventivo di spesa di lire 564,000; e si portarono a compimento nel 1792 con un dispendio che ascese ad otto milioni. Di questi lire 5,700,000 risguardavano i lavori di essiccamento, ossia i canali e fossi, e lire 2,300,000 le fabbriche.

233. Sul cadere del 1810 il Governo francese nominò una Commissione composta di Prony, Ivard, Rigaud de Lille, Desfougères, e del conte Fossombroni per studiare la condizione dell'Agro Romano, e proporne il bonificamento. In quanto alle Paludi Pontine il conte Fossombroni pubblicò il suo Rapporto, che venne inserito nelle Memorie della Società Italiana delle Scienze, ove propugna il sistema delle colmate applicato in grande scala in Toscana (8). Il Prony non potè convenire nell'opportunità di un tale piano, attesa la poca quantità di torbida trasportata dagli affluenti, e trovava preferibile il partito di proseguire a perfezionare l'essiccamento naturale con canali di scolo. I miglioramenti di quelle paludi eransi ripigliati nel 1810, e gli studi del Prony ebbero luogo nel 1811; ma la sua Memoria non venne pubblicata se non nel 1822, co-

(8) Quel rapporto vedesi eziandio nel Tom. III della Nuova Raccolta di Bologna.

sicchè i lavori più importanti si sono intrapresi dal Governo pontificio.

234. Il Prony riconobbe necessario di dilatare e di escavare la Linea Pio, che era rimasta in uno stato di abbandono, e di fare altrettanto per i fossi colatori normali preaccennati. E siccome erano tuttavia di soverchia lunghezza, particolarmente alla sinistra, malgrado all' essere attraversati dalle fosse della Schiazza e delle Selcelle, riconosceva indispensabile di compiere l' escavazione di una seconda fossa parallela a questa. Entrambe le fosse dovevan poi passare allacciate a destra mediante un nuovo ponte sotto la Via Appia per far confluire quelle acque nella Linea Pio, togliendole ai rigurgiti dell' Uffente. Quest' ultimo fiume insieme all'Amazeno ed alla Scaravazza, attraversava pure, come vedemmo, la Via Appia col così detto Ponte Maggiore per sboccare all'estremo superiore del Portatore di Badino. Riconobbe Prony insufficiente la luce di questo ponte e propose di ricostruirlo in più generose dimensioni, e cioè con luce pressochè doppia di 18 a 20 metri e con soglia più depressa. La foce in mare del Portatore doveva accompagnarsi con guardiani onde accrescerne la profondità a vantaggio della navigazione, che ivi si sarebbe diretta a Terracina, mediante il canale Mortaccino parallelo alla riva del Mare, da dilatarsi ed escavarsi.

235. Rispetto alle acque superiori il Prony non convenne nella opportunità di deviarle nel mare mediante la riattivazione del mentovato Rio Martino, cui si opponevano difficoltà enormi. Egli preferiva il partito di condurle raccolte nel fiume Sisto, siccome canale di cinta a destra, e di moderarne la pendenza con traverse, sottoponendosi all' onere di espurgare le deposizioni di ghiaia nei tronchi superiori. Il concorso di quelle acque lo considerava utile per mantenere escavata la foce del Portatore.

236. In due lettere del 1817 e del 1819 dell' ingegnere Scaccia riportate alla pag. 403 della Memoria di Prony, parlasi del nuovo ponte costrutto sotto la Via Appia per la Schiazza e di un altro per l' Amazeno dell' apertura di 12 metri. Sembra perciò che per l' Uffente solo siasi conservato il vecchio Ponte Maggiore, della luce di $10^{m}, 46$, siccome apparirebbe anche dalla carta dell' Italia Centrale uscita dopo il 1846. Del resto nulla sappiamo circa all' eseguimento degli altri lavori proposti da Prony. Da una Memoria

del professore Brighenti del 1863, *sul bonificamento delle paludi* (9), scorgesi che fino al 1847 non erasi ancora risolta la deviazione delle acque superiori di Sermoneta e della Teppia dal circondario interno della bonificazione, attese verisimilmente le difficoltà annesse alle proposte del Prony. Essendosi poi in quell'anno compiuta sotto la direzione del celebre Venturoli, una carta ipsometrica (*plan côté*) delle Paludi Pontine, rilevò il Brighenti da questa come per essersi unita la Linea Pio al Portatore ove hanno foce i fiumi torrentizi Uffente ed Amazeno preaccennati, ne risulti un pregiudicevole rigurgito in quella in acque ordinarie, e molto più in piena, a rimovere il quale inconveniente riconosce necessario di escavare un nuovo canale in prolungamento della linea stessa, che sarebbe della lunghezza di circa cinque chilometri, per farlo sboccare nel Portatore presso la sua foce in mare. Tale provvedimento sarebbe conforme alle regole preaccennate per gli scoli, ed il Prony l'avrebbe ommesso, quantunque, anche senza riportarsi a dati ipsometrici, ne fosse dimostrata la necessità dall' indole torrentizia di que' fiumi e dalla notevole portata delle loro piene al confronto delle acque interne della Linea Pio provenienti dai bassi fondi della palude da bonificarsi.

237. Nelle provincie di terra ferma del già regno di Napoli, ove i fiumi dell'Apennino discendono al piano, spagliavano generalmente sopra estesa superficie ingombra di paludi, con immenso danno della pubblica salute. Il direttore dei lavori pubblici Afan de Rivera pubblicò nel 1845 in Napoli la Memoria *Del bonificamento del lago Salpi* in Capitanata sulla riva dell'Adriatico, laguna lunga 16 chilometri, con un Piano che sarebbesi da lui iniziato. A tal fine avrebbe riaperti alcuni varchi nel cordone litorale per lasciar luogo all' azione escavatrice delle maree. Dai prossimi fiumi Ofanto e Carapella, che nelle loro piene si espandevano in quella laguna, rialzandone il fondo, si sarebbero poi derivati canali per colmarne e bonificarne le estremità insieme colle contigue bassure.

238. Parla in seguito dei progetti, pure da lui iniziati, onde bonificare il bacino inferiore del Volturno, che è l'opera più importante del regno per la sua estensione; porgendo un sunto dei pro-

(9) *Memorie dell' Accademia delle Scienze dell' Istituto di Bologna.* Vedasi pure il *Giornale dell' Ingegnere Architetto* per l' anno 1864.

getti relativi. Essi risguarderebbero principalmente arginamenti ed escavazioni di canali d'essiccamento in parte eseguiti, particolarmente rispetto alla foce in mare protetta da dighe traforate da lui introdotte (10). Parla pure delle colmate applicabili a qualche località di quel bacino, ed anche di opere analoghe proposte per quello prossimo del fiume Sarno.

239. Intorno a questi ultimi bonificamenti porse pure un breve cenno il marchese Pareto, dapprima in un articolo del 1863 inserito nel *Giornale dell'Ingegnere Architetto* sotto il titolo: *Memoria sul bonificamento delle paludi dell'ex regno di Napoli;* dalla quale apparirebbe non essersi compiute, o conservate le opere preaccennate pel lago Salpi. Nella sua Relazione del 1865 fatta al ministro d'Agricoltura e Commercio *Sulle bonificazioni* ecc. *del regno d'Italia*, entra in maggiori particolari intorno a quelle delle provincie napoletane, e specialmente pel bacino del Volturno. Le notizie ivi offerte diconsi ricavate dalla Memoria del 1858 del barone G. Savarese, e da altra Memoria inserita negli *Annali delle bonificazioni* dell' Ingegnere Stefano Melilotti. Una nuova Relazione del 1867 fece il signor Pareto al ministro de Blasis *Sulle bonificazioni esistenti nelle provincie di Terra Ferma dell'ex regno di Napoli* (11). Nel 1868 poi uscì, pubblicata dal prefato Ministero, una Memoria sotto il titolo: *Del definitivo bonificamento e della regolazione idraulica della contrada alla destra del Volturno* ecc. (12), ove è detto, che fino al 1857 le bonificazioni praticavansi per essiccazione, ma che successivamente si iniziarono le colmate, le quali però procedettero con una lentezza maggiore della prevista. Il progetto che vi è unito sarebbe appunto inteso all'applicazione delle colmate nella contrada a destra del Volturno, tra il canale della regia Agnena ed il piede de' monti di Carinola, metodo del quale parleremo più avanti.

(10) L'effetto favorevole di quelle dighe traforate si ebbe pel caso da lui accennato, attesa la ristrettezza della sezione della foce, cosicchè le escavazioni al piede dei pali si comunicavano a tutta la sua larghezza. Ma allorchè se ne volle fare l'applicazione al così detto Po di Levante, foce del Tartaro o Canal Bianco, e degli scoli del Polesine di Rovigo, di notevole portata, anzichè ottenersene una escavazione, veniva a rialzarsi nel suo mezzo, cosicchè fu mestieri riformare quelle dighe col renderle continue senza trafori.

(11) Milano, Tipografia degli Ingegneri, 1867.

(12) Napoli, Tipografia dell' Unione.

240. Abbiamo già notato che se per difetto di pendenza non sia dato praticare essiccamenti naturali, colla escavazione di semplici canali, qualora le circostanze locali, e l'entità della spesa lo comporti, sarebbe mestieri appigliarsi agli essiccamenti artificiali, mediante macchine idrofore, detti anche essiccamenti meccanici. L'Olanda è la classica terra ove quel metodo venne applicato nella più grandiosa scala, e nella mia Memoria *Della Natura dei laghi*, mi sono esteso onde porgerne una idea adequata; premessa una descrizione del suolo dell'Olanda. I terreni che si asciugano chiamansi generalmente *polders*, i quali poi diconsi *terreni d'asciugamento*, quando sono molto depressi sotto il livello medio del mare. Le acque che si espellono con macchine idrofore non vengono scaricate direttamente nel mare, od in un fiume presso alla sua foce, ma bensì in un bacino intermedio che chiameremo *regolatore*, il quale porta il nome di *boezem*. Questo soltanto comunica col mare, oppure col fiume, ossia colle *acque esterne*, mediante una mano di porte angolari a movimento spontaneo, che si chiudono in alta, e si aprono in bassa marea. La grandezza di tale bacino è determinata dalla copia delle acque che vi si versano, alfine di conservare in esso un livello pressochè costante, con maggiore effetto utile delle macchine.

241. In addietro la forza motrice di queste era esclusivamente quella dei molini a vento, i quali imprimevano il moto a ruote a schiaffo aggirantisi in una corsia, oppure a viti d'Archimede. Colle prime si eleva l'acqua ad un'altezza da $0^m,80$ ad $1^m,20$, e colle seconde a 2^m. Quando è mestieri elevarle ad una maggiore altezza, lo si fa adoperando i molini in due o tre ordini, e quindi facendo agire le macchine a più riprese.

242. Data la statistica di uno dei più grandi consorzi dell'Olanda quale si è il *Rhynland*, di cui fa parte il così detto lago d'Harlem, si passa ad esporre i particolari della grandiosa operazione del prosciugamento di questo. Una carta del 1531 rappresenta il lago d'Harlem diviso in quattro piccoli laghi comunicanti fra loro, della totale superficie di 60 chil. q. Ma siccome il terreno che li circonda è torboso e leggero, le rive venivano corrose dagli ondeggiamenti e dalle correnti, cosicchè da ultimo si riunirono in un sol lago di una superficie tripla, ossia di 180 chil. q., con una profondità media di 4^m sotto il livello del mare. Per impedire il progresso

di tali corrosioni si sono spese somme enormi negli occorrevoli ripari, ed in fine si venne alla determinazione di prosciugarlo, e di ridurlo a coltura.

243. Nella prima edizione del 1846 della mia Memoria, porgo un cenno dei lavori iniziati a tal fine, il principale de' quali era la costruzione di un canale di circondario navigabile lungo 60 chilometri, della larghezza di circa 40^m al pelo d'acqua, profondo $3^m,80$. L'asciugamento poi doveva farsi con macchine a vapore, e trombe aspiranti colossali. La prima di esse era il *Leeghwater* che doveva dare movimento ad undici trombe, i cui stantuffi avevano il diametro di $1^m,60$, e la corsa di 3^m. In un' aggiunta fatta nella seconda edizione della mia Memoria del 1866, dò ragguaglio del proseguimento e compimento dei lavori di prosciugamento col sussidio di altre due macchine simili; della riduzione a cultura del fondo del lago con fossi principali e secondari, e colla costruzione di strade, cosicchè nel 1859 vi si erano stabiliti 7200 abitanti, ed erette tre chiese, presso le quali trovavansi tre scuole frequentate da 300 fanciulli. Le spese fino al compimento dei lavori ascesero a 21 milioni di lire, ed il ricavo della vendita del fondo del lago fu di 15 milioni, talchè vi sarebbe stata la perdita di 6 milioni, lo che era da attendersi, non trattandosi di una speculazione, ma bensì di un provvedimento per la difesa territoriale.

244. Parlando degli essiccamenti naturali con semplici canali di scolo, abbiamo notato al § 217 come importi separare quelli dei terreni alti da quelli dei terreni depressi, regola che con maggior rigore ancora devesi osservare per gli asciugamenti meccanici. Nella nota (7) alla II delle Memorie precitate d' idraulica pratica dell' illustre Paleocapa, egli dimostra come per essersi deviato da tale regola, sia andata fallita l'impresa del barone Testa di asciugare con macchine la valle del Foresto, ove concorrevano acque de' terreni elevati, provenienti da una superficie estesissima.

245. Un metodo simile venne applicato nel Polesine per le valli prossime ad Adria e con ottimo successo, perchè ivi le *prese*, o circondari d'asciugamento sono di limitata superficie, e perchè occorre un moderato alzamento delle acque onde espellerle. Ma altrettanto non poteva dirsi del progetto di bonificamento del Polesine di Sant Giovanni Battista, ossia di Ferrara, cui volevansi applicare sette macchine a vapore. Ben a ragione perciò il compianto

ispettore Scotini ebbe a criticare quel progetto, dimostrando che lo scolo delle cosidette *terre vecchie* diretto pel Canal Bianco, atteso l'elevato loro livello, potevasi ottenere senza il sussidio di macchine, portandone lo sbocco sotto l'ultimo sostegno di Tieni nel Volano. Col dirigere poi in questo a valle le acque dei terreni più depressi da bonificarsi, sarebbesi impiegata una metà della forza calcolata. Queste regole dovrebbero sempre seguirsi per non sprecare enormi spese. Del resto presso di noi sembrano preferibili le *turbine* a moto centrifugo alle ruote a schiaffo, sia pel maggiore effetto utile ad altezze variabili, ed anche considerevoli, sia perchè richiedenti le prime una minor spesa di primo stabilimento (13).

246. Venendo ora a parlare dei bonificamenti per colmata, questo metodo per la prima volta sembra essersi applicato alla Val di Chiana. Essa durante la dominazione romana era un affluente del Tevere, che sotto Arezzo, in prossimità della Valle dell'Arno, discendeva nel lago di Chiusi d'onde usciva per unirsi alla Paglia presso Orvieto, e sboccare insieme con questa nel Tevere. I torrenti che discendono dai colli racchiudenti quella valle colmarono naturalmente in gran parte il lago di Chiusi, che si divise di poi ne' due laghetti o *Chiari di Chiusi* e di *Montepulciano,* e rialzarono ivi il fondo della valle in guisa di convertirla nel medio evo in una fetida e mortifera palude.

247. Attesa la notevole depressione della prossima valle dell'Arno, al tempo dei Romani era sorta l'idea di divertire in questo la Chiana, per scemare l'affluenza delle acque del Tevere verso Roma, piano che non venne coltivato, sia pel grave impegno della sua esecuzione, sia per reclami insorti da parte dei Fiorentini (14).

(13) Scotini, *Esame della Relazione del profess. Botter intorno agli asciugamenti meccanici* ecc. *della provincia di Ferrara*, Torino 1864. — Il defunto macchinista Schlegel, che per molto tempo ebbe la direzione dell'ateliere dell'Elvetica presso Milano, nel 1859 aveva applicate oltre a venti di quelle *turbine* ne' territorj del Basso Po, mosse dal vapore con altrettante macchine della complessiva forza di 317 cavalli. Con esse si tenevano asciutti 16,000 ettari di terreni.

(14) Questo fatto è riportato da Tacito (*Annali,* lib. I, § 79) ove dice: *Actum deinde in senatu, ab Arruntio et Ateio, an, ob moderandas Tiberis exundationes, verterentur FLUMINA et LACUS per quos augescit. Auditaeque municipiorum et coloniarum legationes: orantibus Florentinis, ne Clanis, solito alveo demotus, in amnem Arnum transferretur, idque ipsis perniciem afferret* ecc. Il mio amico Possenti, atteso che si indicano i laghi in plurale, in una sua recente Memoria sulla Valdichiana, di cui parleremo in appresso, suppose che anche allora presso Chiusi vi fossero, come

248. Nell' estremo settentrionale della Val di Chiana essendosi, a quanto pare, abbassato il fondo roccioso alla così detta *Goletta di Chiani*, una parte delle sue acque si rivolse in quella dell'Arno, che scorre, come si disse, poco distante ad una profondità di circa 50 metri. Nel secolo XIV i Benedettini di Arezzo ottennero di erigervi una chiusa murata detta *De' Monaci* per stabilirvi un molino. Da una pianta illustrativa in pergamena di quella valle del 1551 di Messer Antonio de' Ricasoli, scorgesi che dal porto di Pilli alla chiusa de' Monaci le acque esondanti il fondo della valle in larghezza di uno a due miglia pendevano verso l'Arno in lunghezza di cinque miglia; che nel tratto successivo fino al porto di Fojano, lungo miglia 9 $^2/_3$ esse *stavano in billico,* e da quel punto continuando verso mezzodì si dirigevano al Tevere.

249. Già da oltre 25 anni eransi allora incominciate le colmate del fondo della valle coi torrenti torbidi laterali. In quella circostanza il Ricasoli avrebbe fatto escavare il canale maestro per raccogliere le acque scolanti; e le colmate proseguirono in guisa di ottenere un sensibile pendio, verso l'Arno per una parte, e verso il Tevere per l'altra, fra due calloni o chiuse dette di *Valliano* e *Pontificia*, costrutte dal 1723 al 1729, colle quali, mediante saracinesche moderavasi l'afflusso delle acque dell' interposto lago di Chiusi. Intorno al 1780 poi, a mezzodì di quel lago venne eretto l'argine di separazione delle acque dei due Stati. Come sieno proceduti i lavori di colmata fino al 1740, lo si raccoglie dal *Ragionamento storico* del padre Corsini del 1742 (15). Nel 1789 venne affidata la dirigenza dei lavori al conte Fossombroni, che immediatamente, od indirettamente, la esercitò fino al 1827, pubblicando nell' intervallo varie Memorie concernenti la storia delle vicende cui soggiacque quella valle, ed il piano delle opere che avrebbe proposte, o fatte eseguire (16). Gli succedette quindi il commen-

oggidì, due laghi. Ma dal testo di Tacito risulta che la proposta fatta in Senato si riferiva anche al lago Velino, del quale avrebbesi voluto chiudere l'emissario alla cascata delle Marmore: *Nec Reatini silebant, Velinum lacum, qua in Narem effunditur, obstrui recusantes.* D' altronde Strabone annovera il lago di Chiusi fra i principali del Lazio e dell' Etruria (lib. V, cap. IV). È quindi verisimile che allora si estendesse dai contorni di Chiusi ai colli di Fojano, ove termina oggidì la vasta pianura.

(15) Firenze 1742.

(16) Vedasi il T. III della Nuova Raccolta di Bologna degli autori idraulici ove sono pure inserite.

datore Manetti, che quale subalterno del Fossombroni nel 1823 aveva pubblicate le *Carte idrauliche dello stato antico e moderno della Val di Chiana.* Nel 1840 uscì la sua Memoria *sulla stabile sistemazione della Val di Chiana,* e nel 1849 altra sullo stesso argomento ove l'autore giustifica principalmente il suo piano per conseguire la stabilità di tale sistemazione (17).

250. Cessato nel 1859 il dominio del gran duca della Toscana, la direzione del Demanio del nuovo regno d'Italia trovò di alienare i terreni bonificati colle colmate, senza vincolare gli acquirenti a condizioni che permettessero col minimo aggravio dell'erario dello Stato il compimento dei lavori, giusta i consigli allora dati dal provvisorio uffizio tecnico dirigente. Per tal modo la burocrazia sarebbe riuscita a realizzare un valore negativo, per pretese d'espropriazione e di indennizzo di danni da parte de' nuovi proprietari, le quali oltrepasseranno le somme percette; e che non mancheranno di far valere nel proseguimento dei lavori con danno non lieve dei contribuenti. Il mio amico commendatore Possenti ispettore del Genio Civile, dal 1866 al 1868 pubblicò in due parti, con una successiva Appendice, una Memoria *Sulla sistemazione idraulica della Valdichiana,* ove egli pure tesse la storia delle sue vicende. Sottopone ivi a rigorosa critica i vari piani proposti ed in parte eseguiti, accennando le modificazioni che reputa opportune onde conseguire nel miglior modo lo scopo della stabilità di essa sistemazione (18).

251. Quando un dotto si è acquistata grande celebrità, non solo il volgo, ma scienziati distinti, affascinati dall'ammirazione de' suoi meriti, li amplificano talvolta al punto di scambiare l'errore con un parto di genio. Il Torricelli, cui l'invenzione del barometro, e la scoperta della legge degli efflussi delle acque di una conserva, assicurarono l'immortalità, interrogato sul modo di sistemare la Valdichiana, dichiarò pressochè impossibile siffatta operazione, e che per riuscirvi sarebbe duopo abbassarne la parte più alta, ossia ritagliarne *una fetta* per invertirne la pendenza; partito che per altro considerava egli pure non eseguibile praticamente. Con tutto

(17) Nelle due prime di esse Memorie si porgono in disegno i particolari artifizj intesi a regolare le colmate nella Valdichiana.

(18) Vedansi quelle Memorie nel *Giornale del Genio Civile.*

ciò vedesi pressochè sempre citato siccome quello che scoperse il metodo delle colmate, e rivelò le regole per metterlo in atto nella stessa valle. Quell'opinione parte dal fatto che il Torricelli in una scrittura del 1645 sulla Val di Chiana disse: che le torbide de'fiumi condotte a colmare e fecondare le campagne depresse, *verificano la favola del Tago e del Pattolo, portando veramente arene d' oro a chi se ne sa servire* (19).

252. Ebbene il padre Grandi, nella sua seconda Relazione relativa al lago di Fucecchio, cita un brano di quella dei famosi architetti Annibale Cecchi, Felice Giamberti, e Baccio del Bianco, portante la data del 24 luglio 1640, di cinque anni perciò anteriore alla scrittura del Torricelli, ove rappresentano essere giusti i reclami dei privati contro le colmate fatte mediante la Nievole pei possessi del gran duca: Imperocchè queste impedivano che i loro terreni posti a tergo potessero scolare. Ecco i termini della loro Relazione al Magistrato. « E però rappresentiamo alle signorie loro « che il vero rimedio, che per sempre fosse liberato ciascuno da « tanto pericolo, sarebbe il concedere a tutti li beni de' particolari « e comuni, che addietro restano, il *colmare,* cominciando al prin- « cipio del piano, fino alli beni di S. A., con venire a poco a poco « innanzi colle *colmate:* così alzandosi i primi che oggi restano « più bassi, non potrebbero per tempo alcuno patire nè d' acque, « nè di scoli: e benchè a questo ne segue un inconveniente, il « quale è che molti non possono stare senza l'annua ricolta, a « questo c' è il rimedio *coll' esempio di Val di Chiana,* il quale ha « usato il serenissimo gran duca; ed è, che S. A. pigli in affitto « tutti i beni per quella quantità d'anni, che crederà essersi rim- « borsato delle spese fatte dopo le colmate. Questo causerebbe « tutti i buoni effetti, cioè, miglioramento d'aria, di terreni, del « fiume, e del medesimo lago, e paduli, e che poi S. A. potrebbe « colmare il suo quanto volesse, senza pregiudizio di alcuno: che « altrimenti, come sopra abbiamo detto, dubitiamo quello che è « per nascere, mediante l'esempio del passato ». E qui notisi che quegli architetti d' acque non presentano la loro proposta siccome una scoperta, ma piuttosto qual regola che sembra fosse già seguita

(19) Raccolta di Bologna, T. III, pag. 379. Il Pattolo è fiume dell'Anatolia che dicesi trasporti arene con particelle d'oro, siccome avviene anche pel Tago.

generalmente nelle colmate che si praticavano nella Valdichiana (20). In ciò si avrebbe la prova che ad essi, assai più che ai celebri scienziati loro contemporanei, erano famigliari le vere leggi dell' idraulica pratica.

253. Ma v' ha di più, che un secolo e mezzo innanzi, Leonardo da Vinci ne' suoi autografi da' quali il frate Arconati ha ricavato il Trattato d'idraulica, al libro VI, capitolo 63 dice: *Le ramificazioni de' canali che per alti colli saranno per natural corso condotte, sono quelle che colle loro mutazioni portano li terreni di essi colli alli bassi paduli, e quelli riempiono di terreno e li fanno fertili* (21). Egli perciò non ignorava la favola *del Tago e del Pattolo*, e sembra che anche i suoi contemporanei sapessero applicarla nelle colmate.

254. Se assurda si fu la proposta del Torricelli, non meno lo fu quella fatta in senso opposto dal conte Fossombroni, d'invertire la pendenza della valle col posare su di essa mediante colmate *una fetta* che la facesse pendere dal mezzodì al settentrione, e di regolarla in guisa di inclinarla verso il mezzo, partendo dai colli; esitando in pari tempo nel proporre un abbassamento della chiusa de' Monaci. Questo concetto, che si disse costituire *la vera caratteristica del genio trovatore,* fu preso in esame dal Manetti nella sua Memoria precitata del 1840, ove dimostrò all' appoggio della livellazione Salvetti del 1769, la quale andava unita alle prime Memorie del Fossombroni, che quella *famosa fetta* era già stata deposta colle colmate anteriori, scorgendosi fin d'allora la cadente di oltre 15 braccia dal Callone di Valiano alla chiusa de' Monaci, lo che permise di erigere sulla pianura rialzata numerosi abitati. Accennava di poi in qual modo fossero a compiersi le colmate, e ad allacciarsi quindi i torrenti colmatori, per guidarli a sboccare innocuamente nel canale maestro, e con ciò nell' Arno.

255. Il Piano del Manetti fu oggetto di amare censure da parte di illustri scienziati, qualificandosi le critiche di lui alle proposte del Fossombroni *fondate sul facile modo di andar ripescando qua e là nelle pagine di un libro alcune frasi staccate per dare ad intendere che le non sono d'accordo; dimenticando e svisando le norme vaste e cardinali che formano il merito vero e l'essenza di quell' o-*

(20) Raccolta precitata, T. IV, pag. 255.
(21) Ivi, T. X, pag. 595.

pera che si cerca di screditare (22). Il Possenti senza ambagi dimostrò l'ingiustizia di tale accusa, e l'inattendibilità della proposta del Fossombroni, conchiudendo che se vi fu un piano veramente attuabile, razionale, e di pratica esecuzione, quello si fu del Manetti. Esso consiste nel compiere le colmate a destra ed a sinistra del canale maestro, al fine di procurare loro possibilmente una pendenza trasversale; nell'allacciare ivi di poi i torrenti colmatori, conducendoli incassati al piede dei colli, onde portarli a sboccare nel canale presso il porto di Cesa, e nell'approfondar questo per farlo collimare colla chiusa de' Monaci, da abbassarsi gradatamente di altri $1^m,14$, oltre ai $4^m,29$ dell'anteriore abbassamento sotto la sommità del 1825. Con ciò si procurava all'ultimo suo tronco una pendenza di $0^m,455$ per chilom. e quindi il carattere di fiume, coll'avvertenza d'impedirne mediante chiusa, durante le piene, i rigurgiti nel tronco superiore, ove conservava quello di semplice colatore d'acque chiare.

256. Avanti d'inoltrarci a parlare della parte tecnica della questione concernente la bonificazione di quella valle, noteremo che, esaminando sulla carta il corso dell'Arno dalle sue origini al piano d'Arezzo, vedesi ivi ripiegare con svolta risentita per dirigersi a Firenze, mentre proseguendo colla direzione primitiva avrebbe imboccata quella della Valdichiana, la quale ne sembra il prolungamento. Questa circostanza risvegliò nel conte Fossombroni l'idea che al tempo della dominazione romana l'Arno formasse ivi una biforcazione, appoggiandosi per tale induzione principalmente a qualche passo della geografia di Strabone interpretato con questa idea preconcetta; tesi che trattata con molta erudizione occupò tutta la prima parte delle sue Memorie del 1789 sulla Valdichiana. Il barone de Prony, che ebbe a visitare i luoghi, convenne nell'attendibilità dell'ipotesi di quella biforcazione, dando il nome di *Ramo Teverino* dell'Arno alla Chiana; opinione alla quale si associò il barone di Humboldt.

(22) Paleocapa, *Esame di una Memoria del commend. Manetti sulla sistemazione della Valdichiana. Atti dell'Ateneo Veneto,* T. V. Vedasi anche l'anteriore sua Memoria del 1838 nella stessa Raccolta, *Sulla bonificazione di Valdichiana.* La Memoria di Guglielmo Libri sullo stesso argomento trovasi nel *Journal des Savants*, fascicolo di Giugno 1841.

257. Avendo poi il Fossombroni scoperto un antico disegno della parte superiore della Valdichiana, che considerò del XIII secolo, nel quale credette scorgere il corso del *Ramo Teverino dell'Arno,* ne inserì nel vol. XIX delle *Memorie della Società Italiana delle Scienze* una *Illustrazione*, colla quale intendeva provare che esso esistesse fino a quel tempo; e supponendo che posteriormente soltanto avvenisse la rottura della Gola di Monte, per la quale l'Arno rimase ivi totalmente assorbito dall' alveo diretto a Firenze, circostanza che secondo lui avrebbe dato origine all' impaludamento della Valdichiana (23).

258. Il Tadini in una sua Memoria pubblicata nel 1830 prese a dimostrare l' inattendibilità della ipotesi del Fossombroni, sottoponendo ad una critica razionale l' indicazione dei documenti da questo prodotti, e partendo eziandio da principi idrologici, quantunque, non avendo richiamate le anteriori Memorie dell' autore, supponesse che per sole 20 braccia ($11^m,66$) avesse dovuto incassarsi l' Arno nella Gola di Monte. Ma se egli avesse riscontrato che giusta quelle Memorie l'incassamento doveva oltrepassare le 72 braccia, ossia 42^m, che dietro le posteriori livellazioni si porterebbe a 50^m, avrebbe in questo fatto trovato un appoggio assai più concludente ancora alle sue eccezioni. Con tutto ciò oltre ai due celebri scienziati Prony ed Humboldt, il Paleocapa, il Libri ed il Brighenti (24), ammisero l' ipotesi del Fossombroni, che vedevasi generalmente seguita nella Toscana.

259. Trent' anni sono, avendo io iniziato alcuni studi sulla Valdichiana, che proseguii anche rispetto all' Arno, ma che rimasero inediti allo stadio di semplici note, esponeva ivi le ragioni per le quali non poteva convenire nella mentovata ipotesi, che tutt' al più avrebbe potuto stare per epoche geologiche; e nemmeno ammetteva e regole secondo le quali il Fossombroni intendeva dovessero proseguire le colmate di quella valle. Con vera soddisfazione perciò rilevo come le mie eccezioni collimino precisamente con quelle

(23) T. III della *Nuova Raccolta di Bologna* precitata.

(24) Vedansi la precitate Memorie del Fossombroni, del Paleocapa e del Libri. Circa al Tadini vedasi la sua Memoria postuma sotto il titolo: *Di varie cose all' idraulica scienza appartenenti*, Bergamo 1830. Intorno a questa il Brighenti pubblicò un articolo nel T. LXV, 1832, della *Biblioteca Italiana* che si è riportato nella Raccolta delle sue Memorie del 1862, *Ricerche geometriche* ecc.

fatte ora dal Possenti dietro uno studio delle località e di documenti officiali che egli potè prendere in esame.

260. In quanto alla stabile sistemazione di quella valle, il Possenti, abbenchè, come si disse, riconosca in massima razionale il piano dianzi mentovato del Manetti, dichiara che avrebbe preferito quello di Enea Gaci del 1635, il quale proponeva la totale demolizione della chiusa de' Monaci, riducendo il canale maestro alla condizione di recipiente dei torrenti laterali. Quel progetto sarebbe stato collaudato dal Galileo, e da altri distinti idraulici posteriori, dal Michelini al Tadini, qualora si fosse associato alle colmate. Ma oppugnato il piano dal Torricelli per ragioni che riconoscemmo inattendibili, venne abbandonato.

261. Nella seconda parte della sua Memoria, dimostra il Possenti come avrebbe egli regolato il progetto del Gaci, coll' abbassare la chiusa de' Monaci di $7^{m},45$ sotto il suo livello attuale; collo escavare il canale maestro fino al ponte di Valiano, ove il suo fondo sarebbesi stabilito ad $1^{m},70$ sotto la soglia di questo, con che si poteva assegnargli una pendenza crescente da valle a monte da $0^{m},40$ a $0^{m},65$ per chilometro, sufficiente per introdurvi gli affluenti torbidi; e col costrurre la nuova chiusa architravata in guisa di potere moderare l' afflusso massimo delle piene della Chiana, onde non aggravare soverchiamente quella dell' Arno. Per tal modo si sarebbero risparmiati gli argini di quegli affluenti che ingombrano la pianura bonificata, ed in misura notevole le colmate; ed il dispendio relativo non avrebbe verisimilmente oltrepassato in complesso i dieci milioni, spesa cui dovrà forse raggiungere il progetto Manetti fino al suo compimento.

262. Indicate poi le opere che rimarrebbero ad eseguirsi con questo giusta una Memoria inedita dell'ingegnere Corradini, espone le modificazioni che gioverebbe introdurvi onde ottenerne il più soddisfacente effetto, consistenti principalmente nell' abbassare la chiusa de' Monaci di $3^{m},14$ sotto la soglia attuale, ed il fondo del canale maestro da essa al ponte di Cesa colla pendenza di $0^{m},40$ per chilometro, formando ivi uno stramazzo di 2^{m} di salto con chiavica. Da questa ai ponti di Cortona si escaverebbe il fondo stesso per cent. 90, e quello eziandio degli allaccianti, alle foci dei quali si apporrebbero le occorrenti serre. Colle chiaviche di Valiano, di Cesa e della Chiusa de' Monaci si regolerebbero

i deflussi delle piene della Chiana in guisa di moderarne la portata massima. Di quest' ultimo argomento occupasi nell' Appendice con calcoli idrometrici applicati ad una chiusa arcuata con notevole battente, che sostituirebbe all' altra precedentemente indicata.

263. Siffatto piano lo considero in massima appoggiato a ragioni plausibilissime, e lo sarà eziandio da un complesso di circostanze locali che non conosco; cosicchè non mi troverei in grado di entrare su di ciò in discussioni, le quali d'altronde si allontanerebbero dal mio programma. Dirò soltanto che l' idea del Possenti di potere irrigare i terreni bonificati di quella valle con acque da derivarsi dal Trasimeno, incontrerebbe notevoli difficoltà pei motivi da me esposti in una nota al § 130 della mia Memoria *Della natura dei laghi.* Dimostro ivi come nella stagione estiva in cui massimo è l' effetto dell' evaporazione sulle acque del lago Trasimeno e su quelle procedenti da un bacino di superficie limitatissima, non se ne avrebbero disponibili per irrigazioni, in quanto che un soverchio abbassamento del loro livello potrebbe dar luogo all'emersione di gronde palustri con danno della pubblica salute; eccezione da me fatta anche nel precedente art. VI, § 63.

264. Allorchè nel 1844 venne pubblicata nel 7.° volume del *Politecnico* la pregevole Memoria del compianto ispettore Guasti: *Dell' influenza che esercitar possono sul corso dell' Arno le acque della Chiana,* io vi aggiunsi una nota nella quale opinai che il maggiore efflusso della piena di questa gioverebbe ad abbassare il fondo dell' altro, ed a diminuire l' elevazione delle sue piene dipendenti dall' accresciuta sua portata massima. Un effetto simile supponeva doversi avere anche per l' immissione del Reno in Po; ma ulteriori studi sopra i torrenti dell' Apennino mi fecero per quest' ultimo cangiare d' avviso, imperciocchè le sabbie trasportate dal Reno sono di maggiore grossezza di quelle del Po. Altrettanto per altro non può dirsi della Chiana, che è bensì torbida, ma non trasporta se non sabbia e terra, mentre ove questa confluisce, l' Alto Arno discendente dal Casentino con una pendenza incomparabilmente maggiore, travolge ciottoloni e sassi di ragguardevole mole.

265. Il signor Carlo Giorgini, nel suo *Discorso idraulico storico sull' Arno* (25), dimostrò come per rimovere le cause d' inonda-

(25) Firenze 1854.

zione di Firenze sarebbe mestieri ricostruirne con ampie travate di ferro i ponti che attraversano il fiume, e demolire le pescaie d' Ognissanti e di Sant Nicolò, sistemandone l' alveo fino a quella di Rovezzano. Nella mia Memoria precitata del 1858 sulle inondazioni della Francia (26), osservai, come ho notato al § 125, che si potrebbe raggiungere un notevole abbassamento delle piene in Firenze col demolire le platee de' suoi ponti, e rendere in tutto od in parte mobile la pescaia d' Ognissanti. In tale concetto converrebbe anche il Possenti al termine della prima parte della sua Memoria diansi esaminata, e solo troverebbe di abbassare anche la pescaia di Sant Nicolò. Io sono d'avviso che, associandosi la piena della Chiana a quella dell'Arno quando questa trovasi nello stadio di decrescenza, un aumento di portata della prima, gioverà ad accrescere l' escavazione del fondo dell' altro. Ma siccome avanti di raggiungere l'effetto definitivo di stabilirne l'alveo dovrebbe decorrere molto tempo, e frattanto discenderebbero in maggior copia le ghiaie dai tronchi superiori negli inferiori, mi sembra che nel riformare i ponti di Firenze e la pescaia di Ognissanti, fosse a conservarsi quella di Sant Nicolò, provvedendo con arginature, ed altre opere onde difendersi da qualche alzamento di piena a monte della città. Ed anzi riconoscerei utile a frenare, o per lo meno a ritardare la discesa delle ghiaie, che nel tronco dell'Arno incassato fra roccie da Rigliano alla foce della Sieve, si avesse a rialzare le pescaie esistenti o ad aggiungerne qualche altra.

266. Sotto Firenze, seguendo il corso dell'Arno, vedonsi alla sua destra tre avvallamenti distinti, che, partendo dalle radici dell' Appennino, rimangono separati fra loro e dal fiume da' gruppi di colli, cui succede la maremma, od estuario di Pisa. Sembra indubitato che tali bassure costituissero quel complesso di paludi, che durante la guerra punica opposero immense difficoltà alla spedizione di Annibale contro Roma (27).

(26) Nota finale (I) verso il suo termine.

(27) Vi furono eruditi distinti, fra cui Lorenzo Guazzesi, provveditore dell' uffizio dei Fossi di Pisa, il quale in una lunga dissertazione (Pisa 1761) volle provare che le paludi attraversate con tanti disagi da Annibale erano quelle fra l' Apennino ed il Po. Nella mia Memoria precitata sulla pianura subapennina, e principalmente nell' ultima sull' estuario adriatico, ho dimostrato che da Piacenza al mare si estendevano bensì vaste paludi, ma nella parte più bassa, prossime o contigue al Po, le ultime delle quali

267. Nel primo avvallamento sotto Firenze, Prato e Pistoia, si versano i torrenti Mugnone, Bisenzio ed Ombrone, gli ultimi dei quali vedonsi per lungo tratto correre pensili fra argini ove attraversano la bassa pianura. Questa, dal lato meridionale, è intersecata da tronchi rettilinei dell'Arno, il quale per la parte inferiore vedesi inalveato fra alluvioni insommergibili, deposte dal fiume in tempi antistorici, avanti che si approfondasse fino al limite attuale la gola rocciosa della Golfolina sotto Signa, nella quale scorre incassato. Col progresso delle colmate di que' torrenti, e mediante il loro arginamento, e l'escavazione di canali di scolo, quell'avvallamento venne bonificato in modo completo. Il corso del Bisenzio, malgrado il parere contrario di Galileo, sul cadere dello scorso secolo venne regolato dall' idraulico Fantoni con parziali raddrizzamenti nella bassa pianura e con ottimo effetto. Ed in quanto all' Ombrone, dal 1823 al 1835, sul corso montuoso di esso e dei suoi affluenti, si costruirono 196 serre o traverse mercè le quali scemarono le spese per difenderne gli argini in pianura ove per la soverchia affluenza delle ghiaie andavano soggetti a notevoli corrosioni ed a rotte disastrose (28).

erano il *Bondeno* e la *Padusa*. Fra di esse per altro e le radici dell' Apennino si elevavano i conoidi dei torrenti che ne discendono, la sommità dei quali, di notevole altezza, era sempre stata praticabile in tempi storici. Vedemmo come trent'anni dopo la discesa di Annibale, M. Emilio Lepido facesse costruire la strada Emilia da Rimini a Piacenza, seguendo appunto la sommità stessa fino a Bologna, quindi staccandosi dai colli per toccare Modena proseguire fino a Piacenza. In prossimità di Modena invero quella strada attraversava in argine un breve tratto di palude, ove avvenne il fatto d'arme fra Ottaviano ed Antonio, raccontato da Appiano Alessandrino, e di poi, nel dirigerla a Piacenza, si ripiegava verso il suo termine onde evitare le paludi ivi asciugate settant' anni dopo da Emilio Scauro. Questi fatti vedonsi esposti nell' Appendice B all' ultima mia Memoria precitata, ove si dà la traccia delle reticole indicanti la divisione dei terreni assegnati in que' tempi alle colonie romane. Per tal modo sarebbe comprovato che da Piacenza a Rimini vi era sull'alta pianura libera comunicazione per le armate; via che Polibio indicherebbe seguita da Sempronio quando dal Lilibèo si portò a soccorrere Scipione a Piacenza, dopo la prima sconfitta dei Romani sul Ticino, ed altro scontro avuto sulla Trebbia. Tito Livio, che parla di un fatto anteriore di soli due secoli, dice esplicitamente che l' impraticabilità di quelle paludi dipendeva dalle espansioni dell' Arno, e che Annibale pose il campo oltre di esse, avendo trovato che Flaminio erasi accampato ad Arezzo, fatti che collimano con quelli narrati da Polibio, cosicchè sulla loro realtà non può cadere dubbio.

(28) Vedasi Repetti, *Dizionario geografico, fisico e storico della Toscana,* Firenze, 1835, agli articoli *Bisenzio* ed *Ombrone di Pistoja.*

268. Nel secondo avvallamento discendono la Nievole e la Pescia dall' Apennino, ed altri minori torrentelli dai colli di Sant' Albano e delle Cerbaje, che colle loro colmate ne rialzarono in notevole misura il fondo, nella maggiore depressione del quale trovasi il Padule di Fucecchio. In questo mantenevansi alte le acque mediante il ponte, o chiusa di Capiano sull' Usciana che ne è l'emissario, onde approfittare il principe del ricavo della pesca con sommo danno di quei territori, sia pei prodotti del suolo, sia per la pubblica salute. Il granduca Leopoldo, con decreto del 4 settembre 1780, revocando gli anteriori, fece aprire la chiusa, e limitandone l' uso ad impedire i rigurgiti delle piene dell' Arno, ridusse al minimo la superficie del padule, con immenso benefizio di quella popolazione. La bocca dell' emissario venne quindi munita di chiavica con cateratta in riva all' Arno fra Monte Cavoli e Calcinaia. Ma poichè lo scolo riesce tuttavia difficile, avuto riguardo anche alla torbidezza delle acque, nel 1864 si è steso dall'ingegnere Giuliani il progetto di prolungare sulla destra dell'Arno quell'emissario per metri 12,500, fino a Caprona presso la foce della Zambra, con che si verrebbe a guadagnare la caduta di 5^{m} sulla magra dell'Arno, e di 6^{m} nella sua piena, circostanza che influirà a migliorare in notevole misura la bonificazione (29).

269. Il terzo avvallamento sul cui fondo trovasi il lago di Sesto, o di Bientina, è circoscritto dalle radici dell' Apennino, ivi detto delle Mazzorne, dal Serchio, dal gruppo dei monti Pisani, dall'Arno e dai mentovati colli delle Cerbaje. Ne' tempi andati in quell' avvallamento si espandevano liberamente le piene dell'Arno, e quelle del Serchio di fondo più elevato, avanti che si contenessero fra argini, lo che influì a colmarlo, rialzandone il fondo e le gronde. Il signor professore Gaetano Giorgini in un suo ragionamento pubblicato nel 1839 (30), porge un cenno di vari progetti fatti nello

(29) Circa allo stato di quell' avvallamento al principio del secolo scorso vedansi varie Relazioni del matematico Guido Grandi nel T. IV della Raccolta di Bologna. Rispetto all' a rimento della chiusa di Capiano vedasi il Dizionario precitato all'articolo *Padule di Fucecchio.* In quanto poi al progetto del Giuliani, la notizia la ebbi da un periodico che lo censurava; giovandomi in pari tempo della livellazione del Manetti per i dati altimetrici.

(30) *Ragionamento sopra il regolamento idraulico della pianura lucchese e toscana interposta all' Arno ed al Serchio.* Pisa 1839.

scorso secolo dal Perelli, dallo Ximenes, dal Lorgna, e da altri (31) pel totale o parziale prosciugamento del lago, escavandone l'emissario alla sinistra del Serchio, od alla destra dell'Arno; oppure alle destra del primo, od alla sinistra del secondo, mediante botti sotto que' fiumi, fra quali egli dà la preferenza a quello, che prende a sviluppare secondo alcune particolari sue vedute. In pari tempo si estende in una polemica per dimostrare l'inattendibilità del progetto dell'ingegnere Nottolini di divertire mediante botte sotterranea il Serchio a bonificare per colmata il lago di Massaciuccoli colle attigue bassure, di che si parlerà più avanti.

270. Il progetto del Perelli per la botte sotto l'Arno, risguardava soltanto lo scolo del territorio toscano di Bientina a mezzodì del lago. Ma nel 1787 il canonico Pio Fantoni fece la proposta di estendere quel piano allo scolo dell'intero avvallamento, concetto che nel 1841 venne coltivato dal commendatore Manetti, il quale ne stese un piano particolareggiato. Con esso il canale del nuovo emissario doveva attraversare la pianura meridionale pisana fino ad unirsi al Calambrone presso la foce di questo in mare. Interpellato in proposito il professore Brighenti, questi emise il suo voto favorevole nel 1852, lorchè lo Stato di Lucca erasi unito alla Toscana, introducendo nel progetto lievi modificazioni desunte dai calcoli da lui istituiti (32) dopo di che si dette mano all'opera. Pei lavori di costruzione della botte vedasi il ragguaglio che nel 1857 ne ha dato il commendatore Cialdi (33). Attivatosi il nuovo emissario al principio del 1860, avvenne la rottura degli argini del canale coll'inondazione di quella pianura, che si attribuì alla rottura degli argini della Tora e del Fosso Reale ove confluiscono altre acque torrentizie. Si ha per altro motivo di credere che a tal causa si associasse pure la limitata capacità del nuovo canale regolata sopra dati udometrici ed idrometrici inferiori al vero, quantunque le sue arginature si fossero dal Manetti tenute più alte di quanto richiedeva il calcolo (34). Col sussidio dell'esperienza è ve-

(31) Le memorie di Eustachio Zanotti, di Boscovich e di Ximenes su tale argomento vedonsi nel T. VII della Raccolta di Bologna.

(32) La Memoria del Brighenti è inserita negli atti dell'Accademia delle scienze dell'Istituto di Bologna; e nella precitata Raccolta delle sue Memorie.

(33) *Giornale dell'Ingegnere Architetto.*

(34) Il Brighenti ha calcolata la superficie scolante nel lago di Bientina in sole 72 miglia quadrate, equivalenti a 197 chilom. q., dati ricavati dalla Memoria di Eustachio

risimile che siensi di poi emendati i difetti di quell'emissario, risultando essersi, a quanto pare, ottenuto l'effetto desiderato circa al bonificamento di quel circondario (35).

271. Venendo ora a parlare dell'Estuario Pisano, ossia dell'antica laguna, o maremma colmata presso le foci in mare dall'Arno e dal Serchio, sulla cui fronte stendesi in curva regolare il cordone litorale, detto *tombolo,* la divideremo in tre parti, aventi ciascuna un emissario distinto. La parte più settentrionale alla destra del Serchio racchiude il lago di Massaciuccoli, in cui si scaricano i canali di scolo della superiore pianura. L'emissario di quel lago è il canale Burlamacca nel quale concorrono gli scoli dell'inferiore palude, alla cui foce in mare presso Viareggio nel 1736 fecesi da Zendrini applicare porte angolari per tenere separate le acque dolci dalle salse della marina, e ciò con ottimo effetto per la pubblica salute che ha in grado sommo migliorato. Col progetto Nottolini tanto il lago, quanto la bassa pianura palustre si sarebbero colmate colle acque del Serchio ivi in totalità divertito mediante canale sotterraneo, escavato nella così detta foce di Filettole, rivolgendo nell'alveo derelitto del fiume l'emissario del lago di Bientina. Questo progetto oppugnato, come dicemmo, nella precitata Memoria del professore Giorgini, dette luogo ad un acre e prolungata polemica (36).

272. La parte di mezzo della Maremma Pisana è quella conterminata dal Serchio, dall'Arno e dal cordone litorale che comprende i boschi di Sant Rossore. Essa scola verso la marina con un sistema di canali, il principale de'quali è il cosidetto *Fiume Morto,* che trae la sua origine all'unghia dei monti Pisani presso la foce

Zanotti, stesa in tempo in cui mancavano buone carte topografiche. Uscì posteriormente quella della Toscana dell'Inghirami, e nel 1846 quella dell'Italia Centrale, da cui ho ricavato che la superficie totale del bacino scolante era di 425 chilom q., di cui 239 in collina, e 186 in piano. Avendo poi il Brighenti determinata la portata del canale colla formola di Eytelwein, che per canali con pareti di terra dà risultamenti esagerati, dopo avere ridotto l'afflusso ad un terzo della pioggia soltanto, è naturale che per la sezione del canale risultasse un'ampiezza insufficiente; lo che si verificò all'atto pratico, malgrado all'essersi tenuti assai più alti gli argini.

(35) Da una Relazione dell'ingegnere Pareto del 1867, della quale si parlerà più avanti, ricavasi che il fondo del lago di Bientina bonificato si è venduto ai privati.

(36) Al Ragionamento del Giorgini tennero dietro le *Note marginali* e le *Appendici* a queste, ove la polemica prende un carattere personale veramente defatigante.

della Zambra nell'Arno. Quel canale nel secolo XVII aveva foce nel Serchio, ed assai opportunamente ne venne divertito per rivolgerlo direttamente al mare, dietro proposta di Benedetto Castelli, la cui attuazione ebbe un risultamento favorevole, quantunque sostenuta con argomenti erronei; pretendendo egli che i rigurgiti del Serchio in quel canale avessero un effetto crescente da valle a monte (37).

273. La parte più estesa della Maremma pisana è la meridionale fra l'Arno e le radici dei colli a sinistra, a valle della foce dell'Era. Sopra la sua regolazione vi è un interessante Ragionamento del 1740 dell'idraulico Perelli, nel quale raccomandava la separazione delle acque alte dalle basse; e principalmente il chiudimento dell'Arnaccio, che era un diversivo delle piene dell'Arno, il quale dalle Fornacette intersecava quella pianura fino alla foce del Calambrone (38). Nel 1761 il mentovato provveditore Guazzesi fece chiudere quel diversivo (39), che colle sue acque, e più ancora colle sue deposizioni, sconvolgeva gli scoli della pianura; operazione analoga a quella del chiudimento del Castagnaro, diversivo dell'Adige, di cui parlammo al § 226, e dalla quale si ebbero egualmente ottimi effetti. Dalle indicazioni del foglio di Pisa della grande carta topografica dell' Italia Centrale desumesi che i consigli del Perelli per la separazione delle acque alte, e principalmente delle torrentizie, furono seguiti, ma forse non in modo completo. Egli è verisimile che di poi siensi a tal fine messi in atto ulteriori provvedimenti; particolarmente dopo che vi fu rivolto, come vedemmo, l' emissario del lago di Bientina.

274. Le opere di maggiore impegno pel bonificamento delle paludi della Toscana sono quelle, in gran parte di colmata, intraprese dopo il 1828 per le Maremme senesi fra i colli di Castiglioncello sotto Livorno ed il confine romano: e fra queste la principale si è la pianura di Grosseto col lago di Castiglione della Pescaja. Questo era un' antica laguna salsa che venne in parte colmata per espansioni nelle sue piene dal poderoso fiume Ombrone, ed

(37) Vedasi la mia Memoria precitata sull' origine e progresso della scienza idraulica dal § 99 al 102.

(38) Il Ragionamento del Perelli vedesi nel T. VI della Raccolta di Bologna.

(39) Repetti, Dizionario precitato all'articolo *Arnaccio*.

eziandio in minor misura, dai torrenti Bruna e Sovata che in essa si versano.

275. Il granduca Pietro Leopoldo, dietro proposta del matematico Ximenes, fece intraprendere nel 1765 un piano di bonificazione di quella pianura mediante canali di scolo, uno dei quali navigabile, alimentato da una derivazione di acque chiare dall'Ombrone, alfine di rinfrescare in pari tempo quelle del lago. Applicò all' emissario di questo una chiusa con cateratte, detta delle *Bocchette*, intesa a regolare lo scarico delle acque del lago, ed a rialzarne ben anche in dati tempi il livello onde favorire la pesca.

276. Non scorgendosi dopo alcuni anni un vantaggio apprezzabile da tali provvedimenti, nel 1788 il canonico Fantoni, richiesto del suo parere, presentò al granduca una Relazione nella quale dimostra che il bonificamento di quella palude e dell' attigue basse campagne potrebbe ottenersi per colmata, sia col divertirvi integralmente il corso dell'Ombrone, sia col dirigervi un diversivo di esso nelle piene. Ma non ommette in pari tempo di esporre tutte le difficoltà cui si andrebbe incontro coll'uno o coll' altro piano, e come l'ultimo fosse per richiedere, oltre ad una ingente spesa, un tempo assai lungo. Notava eziandio essere egli dubbioso che per tal modo si potesse conseguire un assoluto risanamento dell' aria, attesa la malignità delle esalazioni provenienti dalle deposizioni di quel torrente, siccome ebbe ad avvertire lo Ximenes dietro le osservazioni da lui fatte. Esclusi perciò entrambi i partiti preaccennati, come pure il piano iniziato dallo Ximenes, ed i progetti per ridurre il padule a laguna salsa, o d' acqua dolce per uso di pesca, conchiude col proporre di restringere mano mano il padule sul suo perimetro mediante colmate della Bruna, della Sovata, e degli altri rivi discendenti dai contigui colli, e di rialzare la pianura orientale delle Paduline con un diversivo dell' Ombrone di sole 6 braccia di luce (40).

277. Sospesa allora ogni determinazione, e sopraggiunti i cangiamenti politici, solo nel 1827 si ripigliò l' esame del piano che giovava concretare pel bonificameto delle maremme toscane. Nel 1827 il Sovrano incaricò il professore Gaetano Giorgini di visitare i luoghi

(40) L' estesa Relazione del Fantoni venne pubblicata dal consigliere Antonio Salvagnoli siccome Documento XIII al suo Rapporto del 1859, di cui si parlerà più avanti. In quella Relazione è pure dato ragguaglio del piano fatto intraprendere dallo Ximenes.

e di riferire, lo che egli fece con una Relazione nella quale per le singole località propone, principalmente la separazione delle acque salse dalle dolci, mediante chiuse con cateratte a bilico; per alcune di esse il metodo di essiccazione; e per altre qualche parziale colmata. Quest'ultimo metodo lo riconobbe in massima conveniente anche pel lago di Castiglione e per le attigue bassure mediante i torrenti che vi si versano, e meglio ancora col dirigervi le acque torbide dell'Ombrone; non dissimulando per altro l'enorme impegno di tale piano sia per l'entità della spesa, sia per la lunghezza del tempo richiesto, siccome aveva opinato anche il Fantoni (41).

278. Interpellato in proposito il conte Fossombroni, egli presentò nel 1828 al granduca una Relazione, ove dopo una serie di calcoli intende dimostrare che mediante un canale di derivazione dall'Ombrone, in sette od otto anni si poteva ottenere il bonificamento del lago di Castiglione e degli attigui paduli, con un dispendio di circa 820,000 lire italiane. Decretata l'esecuzione dei lavori secondo questo piano, la loro dirigenza venne affidata al commendatore Alessandro Manetti, direttore delle acque e strade. Nel 1838 il cavaliere Tartini, segretario della direzione, pubblicò un Ragguaglio delle opere intraprese pel bonificamento della pianura Grossetana e pei paludi di Piombino e di Scarlino, accompagnato da atlante che ne illustra i particolari (42). In quel libro è riportato tanto il Ragionamento del conte Fossombroni preaccennato, quanto una Memoria del matematico conte Pietro Paoli, che appoggia quel piano. La parte più imponente di tali lavori consistette in due diversivi dell'Ombrone condotti nel padule di Castiglione e sulle prossime depresse pianure per la colmata.

279. Nella Memoria del 1849 precitata, dopo avere parlato della Valdichiana, il commendatore Manetti porge una informazione sui lavori eseguiti pel bonificamento delle maremme e sulle relative spese, da cui risulta che nel ventennio precedente essa oltre-

(41) Le Relazioni del Giorgini del 1827, come pure una sua Memoria del 1828 sullo stesso argomento, letta all'Accademia delle Scienze di Parigi, ed altra del 1827 letta alla Società dei Georgofili di Firenze, vedonsi unite siccome Documenti sotto i N. II, III e IV al Rapporto Salvagnoli precitato.

(42) Quel libro porta il titolo: *Memorie sul bonificamento delle maremme toscane.* Firenze per Molini, 1838.

passò i tredici milioni di lire italiane, de' quali per altro circa un quinto si riferirebbe ad opere di pubblica utilità, e principalmente a nuove strade ed a ponti. Nel 1859, coll'avvenuto cangiamento di governo, cessò l'antica direzione dei lavori, e ne fu istituita una nuova.

280. Apparve allora il Rapporto del consigliere Antonio Salvagnoli Marchetti, nel quale si sottopone a rigoroso sindacato la precedente direzione (43). Nell'anno successivo tennero dietro le Risposte del commendatore Manetti ai fatti appunti (44) cui il Salvagnoli contrappose nel 1861 altra Memoria corredata di una serie di documenti inediti (45). Dopo di questa seguì la pubblicazione di altri scritti, ne' quali la polemica assunse un carattere personale. Nel 1863 poi uscì la documentata Relazione ufficiale del commendatore Gaetano Giorgini al ministro di agricoltura e commercio, ove si porge il sunto dei lavori eseguiti a tutto il 1862, delle spese sostenute, e di quelle da incontrarsi per condurre l'opera al suo compimento (46).

281. Risulta da quella Relazione che rispetto all'effetto igienico delle praticate colmate, scorgesi un' assoluta progressiva minorazione della mortalità nella pianura Grossetana, ma non già la cessazione della mal' aria nella stagione estiva. Notasi che dei 10,000 ettari costituenti la parte di essa pianura da bonificarsi, lo sarebbero di già, in modo completo 6000, ed incompleto i residui 4000 ettari. Conchiudesi quindi che importa di compiere i lavori, proseguendo il sistema delle colmate, lo che potrà aver luogo verso il 1876 con un ulteriore dispendio di circa quattro milioni, che insieme all'anteriore costituirebbe il complessivo di 25 milioni, mediante la quale spesa si ultimerebbero eziandio i miglioramenti ne' tre circondari di Piombino, Scarlino ed Orbetello.

282. Il signor Ingegnere Pareto, in una sua Relazione del 1867 al ministro di agricoltura e commercio (47) riferisce che i lavori

(43) Esso porta per titolo: *Rapporto a S. E. il presidente del R. Governo della Toscana sul bonificamento delle maremme toscane* dal 1828-29 al 1858-59. Firenze. È corredato di documenti e di tavole.

(44) *Esame della parte idraulica del Rapporto* ecc. Si dà in fine un copioso elenco di Memorie concernenti quest'argomento, pubblicate dal 1827 al 1857.

(45) Raccolta di documenti. Firenze.

(46) *Relazione sullo stato del bonificamento delle maremme toscane.* Firenze, Tipografia Bettini.

(47) *Giornale dell' Ingegnere Architetto* di quell'anno.

di bonificamento della pianura Grossettana progredivano; che per condurli a termine occorrevano ancora circa dieci anni ed un ulteriore spesa di tre milioni, oltre a quella per regolare di poi gli scoli delle campagne, la quale sarebbe per ascendere verisimilmente ad una metà di tale somma. Ed in quanto all'effetto igienico, conferma che un risultato favorevole si è conseguito nella minorazione delle mortalità, notando però esservi dubbio che possa raggiungersi un grado di miglioramento dell'aria che permetta di abitare in tutto l'anno quella plaga, e di sottoporla ad una regolare coltivazione; ciò che forse potrà ottenersi col tempo, dopo la sistemazione degli scoli. Da tale Relazione desumesi che durante la colmata lo Stato retribuisce ai privati l'interesse del 5 per 100 sul valore di stima dei loro terreni, che oltrepassano la metà della superficie da bonificarsi, e che restituendosi questi ai proprietari, essi dovranno rifondere l'aumento del loro valore, lo che si limiterà a ben poco, atteso l'elevato prezzo della stima primitiva, e la loro condizione tuttavia precaria nella quale anche allora si troveranno. Dalle quali cose si può conchiudere essere in vero poco soddisfacente l'effetto che si è ottenuto dal vagheggiato bonificamento al confronto degli enormi sacrifici richiesti.

283. Circa alle cause della malsania dell'aria scrissero autori dottissimi che dimostrano essere molteplici. Sulle rive dell'Adriatico essa è rara nelle lagune salse, e nelle attigue valli, attesa l'azione delle maree assai più pronunziate, e quella eziandio dei venti freschi del nord discendenti dalle Alpi; cosicchè nei tempi della romana dominazione la laguna veneta presso Altino era saluberrima e cospersa di deliziose ville sulle sue isole. Ma lunghesso le rive del Mediterraneo, sia per la maggiore distanza delle creste dell'Apennino e quindi per la maggiore sottigliezza delle acque sulle spiagge marine, sia pel predominio dei venti caldi australi e per la tenue azione delle maree, fino d'allora le maremme toscane erano insalubri, lo che ora avviene anche per quelle di Roma, e del Napoletano. Forse anche la natura delle acque fluviali potrebbe contribuirvi per la qualità dei sali minerali tenuti in soluzione, ciò che verisimilmente avverrebbe per quelle del Tevere, che vedemmo ricevere il principale suo alimento da acque sotterranee, e probabilmente nella regione vulcanica. La segregazione delle acque marine dalle dolci, sembra indubbiamente un mezzo efficace per

scemare la malsania dell'aria, ma non sempre sufficiente. Il Brighenti nella precitata Memoria del 1863 sul bonificamento delle paludi (48), estendesi sopra tale argomento, e nota come il mantenere una sufficiente profondità alle acque nella stagione estiva possa giovare ad ottenere l'intento. È appunto con tal mezzo che si spera di migliorare l'aria di Mantova, rialzando il livello delle acque de' suoi laghi inferiori mediante la diga Chasseloup da portarsi a compimento, in modo che nella stagione estiva non possano emergere le gronde palustri (49). E se il Fantoni si fosse attenuto ad un tale partito, modificando il piano dello Ximenes per associarlo alle colmate sul solo perimetro del padule di Castiglione, avrebbe forse potuto raggiungere lo scopo con spese incomparabilmente minori.

284. Nella precitata Memoria il Brighenti proscriverebbe nelle regioni maremmane, e per la campagna di Roma, le macchie ed i boschi, siccome fomiti di mal'aria. Io convengo in ciò rispetto alle prime, ma in quanto ai boschi, ove sieno a capitozza, oppure d'alto fusto, non li considero molto pregiudicevoli, in quanto che scemano il riscaldamento del suolo, e moderano, ma non impediscono la ventilazione (50).

285. Mi sono esteso in questo lungo articolo sopra le bonificazioni dei terreni, perchè argomento d'idraulica pratica della più grande importanza nella nostra Italia, siccome appare dall'esame istituito dei varj metodi, della loro applicazione e degli effetti ottenuti. Rispetto ad altre contrade di oltremonti mi sono limitato a qualche cenno sugli essiccamenti artificiali dell'Olanda che possono servire di norma per siffatti miglioramenti. Essendo per altro oggidì

(48) Giornale precitato, anno 1864.

(49) Vedasi la mia Memoria *Sulla sistemazione dei laghi di Mantova* unita alla 2.ª edizione del 1866 di quella *Della natura dei laghi* precitata. Ivi si espone eziandio il modo di liberare Mantova dalle inondazioni di rigurgito del Po nelle maggiori sue piene, mediante il contemporaneo chiudimento dell'emissario del lago di Garda in Peschiera, ossia del Mincio, di che si è fatto cenno al § 51.

(50) Avendo io praticate le alluvioni del Po per intere settimane sotto un sole cocente, come mi accadde al principio d'agosto del 1834, allorchè passava sotto un bosco a capitozza e meglio ancora d'alto fusto, provava un refrigerio, sia per la frescura, sia per la ventilazione. Ma altrettanto non avveniva quando doveva internarmi in un bosco a ceppaja, ove la stagnazione dell'aria si associava ad un calore soffocante intollerabile, che necessariamente dovrà essere fonte di miasmi pestiferi nelle depressioni in cui si accumulano e ristagnano le acque di pioggia.

in corso d'esecuzione lavori analoghi in Francia, ma di un carattere speciale, gioverà porgerne una breve indicazione.

286. Varj altipiani di quel paese vedonsi disseminati d'innumerevoli stagni, generalmente naturali, ma in qualche parte artificiali, che sono fonte di malsania dell'aria, cosicchè la popolazione è ivi rara, ed in triste condizione. Ciò scorgesi principalmente nella *Sologne*, che abbraccia una parte dei dipartimenti del *Loiret*, del *Cher* e della *Loire et Cher*, dell'estensione di cinque mila chilometri quadrati, ove gli stagni ne coprono 17000 ettari; nella *Dombes*, dipartimento dell'*Ain*, sopra Lione, ove la superficie degli stagni dicesi raggiunga il sesto di quella pianura; nella *Brenne*, dipartimento dell'*Indre*, e nella *Double*, dipartimento della *Dordogna*.

287. Intorno alla necessità di regolare le acque di quegli stagni, sia per renderli innocui, ed utilizzarli quali serbatoi d'acque irrigue, sia per essiccarli, il distinto agronomo Puvis, pubblicò nel 1844 l'interessante Memoria sotto il titolo: *Des étangs, de leur construction, de leur produit, et de leur desséchement*. I suoi studi li ha fatti principalmente nella *Dombes*, e conchiude per la loro soppressione.

288. L'illustre idrometra de Saint Venant inserì nel 1849 negli Annali de' ponti e strade una Memoria *Sur la conservation, et l'assainissement des étangs*, ove raccomanda di mantenerne profonde le acque, e d'impedire nella stagione estiva l'emersione delle spiaggie sul loro contorno. A tale effetto propone di escavare ivi il terreno, e di formarne arginelli da piantumarsi, od anche argini di circondario onde contenere le acque invasate.

289. Il signor Hervé Mangon, attualmente professore d'idraulica agricola nella scuola de' ponti e strade di Francia, dopo avere visitata nel Belgio la *Campine*, ove si erano eseguiti notevoli bonificamenti, nel 1850 pubblicava una Memoria nella quale proponeva provvedimenti analoghi per la Sologne (51). Egli osserva che in generale il suolo di quella regione è costituito da uno strato di terra vegetale, cui altro ne è sottoposto di argilla di una potenza considerevole e di natura variabile, che impedisce l'assorbimento delle acque, le quali ivi ristagnano. Egli quindi proponeva di essiccare le parti palustri; di irrigare mediante serbatoi le parti aride;

(51) *Études sur les irrigations de la Campine et les travaux analogues de la Sologne et d'autres parties de la France*. Paris, Dalmont 1850.

e di costruire strade campestri economiche onde facilitare il trasporto delle materie calcaree per la marnatura del suolo.

290. Nel 1863 si è promulgata in Francia una legge in forza della quale si dovevano istituire consorzi per mettere in atto quei miglioramenti, anche con sovvenzioni dello Stato. Dalla annuale esposizione della situazione dell' impero, di cui si porge un estratto negli Annali de' ponti e strade, scorgesi che a tutto il 1868 per la Sologne si sono compiute le strade campestri della sviluppata lunghezza di 484 chilometri; che si è pure compiuto il canale della Sauldre, il quale serve per lo scolo, per la navigazione onde trasportare le marne, e per l' irrigazione con oblimazione; e che procedono i lavori per l' essiccamento degli stagni, e per la irrigazione anche mediante serbatoi artificiali. Scorgesi eziandio che altrettanto si fa nella Dombes e nelle altre plaghe preaccennate a seconda dei mezzi delle rispettive località.

291. Nella nota finale (E) alla mia Memoria precitata del 1858 sulle inondazioni della Francia ho dato un cenno dei miglioramenti che andavano introducendosi nella vasta regione delle Lande della Guascogna. Osservava come Brémontier sul cadere dello scorso secolo proponesse la fissazione, mediante piantamenti, delle dune di sabbia, che sotto l' azione dei venti invadevano il continente colle più disastrose conseguenze; provvedimento da cui si conseguirono ottimi effetti. Notava pure come quella plaga fosse soggetta alla mal aria per la stagnazione delle acque; e come l' ingegnere Chambrelent avesse scoperto che ciò dovevasi attribuire ad un sottile strato impermeabile del sottosuolo di sabbie legate da sostanze vegetali, detto *alios;* cosicchè mediante piccoli fossi era dato attraversarlo, e procurare lo scolo delle acque. Io osservava inoltre come con tale mezzo fosse agevole piantumare quelle sterili brughiere con pini e quercie, e come l' imperatore Napoleone ne avesse dato l' esempio coll' intraprendere quei bonificamenti sopra estesi poderi acquistati per proprio conto. Aggiungeva che con legge del 19 giugno 1857 si era resa obbligatoria siffatta operazione pei comuni, principali proprietari delle Lande. Notava infine come si fosse convenuto con una società per la costruzione di 500 chilometri di strade campestri. Scorgesi ora che a tutto il 1867 eransi per tal modo bonificati 171000 ettari di lande comunali, e che erano in corso i lavori per altri 32000 ettari.

292. L' ingegnere *Duponchel* nel suo *Trattato d'idraulica geologica ed agricola del* 1868 da me citato nel § 146, riconoscerebbe insufficienti le mentovate bonificazioni delle Lande, e preferirebbe di stendere sopra di esse uno strato di cinque centimetri di marna onde renderle atte alla coltura. Egli deriverebbe a tal uopo sulle pendici de' Pirenei nel Piano di Lannemezan dalla Neste un corpo d' acqua limpida di circa 10 m. c. per secondo, che renderebbe torbida artificialmente, intaccando colla forza delle acque le prossime costiere. Quindi con un canale di trasporto della lunghezza di 120 chilometri, farebbe defluire le acque torbide dirigendole nelle Lande sopra una linea di partiacque di 75 chilometri, d'onde si staccherebbero lateralmente 270 chilometri di canali secondarj per la distribuzione delle materie della colmata. Egli per tal modo con una spesa di quattordici milioni per le opere di primo stabilimento, e con altra annuale di 1,800,000 lire si riprometterebbe di bonificare ogni anno 24000 ettari con questa specie d'intonaco uniforme di marna, e perciò 500,000 ettari in poco più di vent'anni, talchè la spesa si ridurrebbe a 75 lire per ettaro, ed a cent. 15 per ogni metro cubico di torbida trasportata. Si ha però luogo di dubitare che gli accidenti del terreno permettano senza gravi difficoltà di dirigere quei canali principali o secondarj sopra linee di partiacque; e che riuscendo pure a farlo per le acque in giuste proporzioni, altrettanto possa operarsi per le torbide artificiali da esse tenute in sospensione.

293. Nel fascicolo di dicembre 1868 degli Annali de' Ponti e Strade è apparso un articolo del signor Drizard col titolo: *Sur le colmatage des terreins de la vallée de l'Isère, partie comprise dans la Savoie entre le pont de Gresy et la limite du département.* Ivi parlasi de' lavori eseguiti dopo il 1860, in cui fu ceduta la Savoja alla Francia, per bonificare mediante colmate le alluvioni, ed alvei derelitti dell' Isère a valle della confluenza dell' Arc, in continuazione di quelli operati dallo Stato Sardo partendo dal 1840, e degli anteriori a monte, compiuti nel decennio precedente per lo stesso Isère e pel suo confluente Arc. L' autore non entra in particolari su questi, consistenti nell' escavazione di un canale unico, ove i fiumi scorrevano vaganti, al quale sarebbesi assegnata la larghezza di 60^{m} per l'Arc, di 100^{m} pel solo Isère, e di 130^{m} pei fiumi uniti; nella costruzione di argini insommergibili adossati alle sponde, ri-

vestiti insieme con queste di grosse pietre; in un sistema di chiaviche di derivazione e di altre di scarico per procurare artificiali espansioni, delle piene; e di argini trasversali sulle alluvioni e canali derelitti con sfioratori onde regolare le colmate. Scopo di tali lavori era quello di migliorare la condizione del suolo per una superficie di circa 3200 ettari laterali ai due fiumi, e di rimovere le cause della mal aria, attesa la stagnazione delle acque nelle depressioni dopo le piene estive. L'autore osserva che per quei lavori lo Stato Sardo aveva erogata la spesa di circa 9 milioni, e che aveva dovuto sostenere continui conflitti coi proprietarj litorani, sia per le loro usurpazioni di terreni e di prodotti, sia per l'opposizione alle espansioni artificiali delle acque, che consideravano pregiudicevoli ai loro terreni coltivi, quantunque questi si difendessero con argini. Egli si estende poi sui lavori eseguiti dal 1861 al 1866 dal Governo della Francia, nel quale intervallo lo Stato avrebbe speso 113,522 lire con un miglioramento nel valore del suolo calcolato in 747,000 lire. Dei lavori intrapresi dallo Stato Sardo dà un cenno l'ingegnere de Mont-Rond nella sua Memoria: *Du Rhone et de ses affluents des Alpes* del 1847 (dalla pag. 175 alla 182) (52), indicandosi ivi che a valle della confluenza dell'Arc eransi allora soltanto iniziati. Se poniamo a confronto gli effetti ottenutisi in così lungo periodo coll'enorme spesa occorsa, avremo qui un riscontro di quanto avvenne pel bonificamento con colmate della pianura Grossetana e dell'annesso lago di Castiglione.

294. Un mezzo efficace di bonificazione dei terreni si è esperimentato in grande scala nell'Inghilterra, coll'operazione del così detto *drenaggio,* ossia fognatura, che diremo limpida, a differenza di quella delle città che chiameremo immonda. Di questo metodo, consistente di solito nel disporre nel sottosuolo delle linee di tubi di terra cotta, che assorbano le acque insieme coll'aria provenienti dalla superficie del terreno per condurle ad emissarj prestabiliti, ho dato un cenno nella precitata mia Memoria sulla pianura subapennina (Nota finale C), ove sembra che in qualche località

(52) Di quella Memoria, e dell'altra del 1851 dell'ingegnere Cunit: *De l'endiguement de l'Isère*, ho discorso nella mia Memoria del 1858 sulle inondazioni della Francia (§ 29), dimostrando per la prima l'insussistenza del supposto progressivo anteriore alzamento del fondo dell'Isère, e per la seconda la sconvenienza di raddrizzamenti nel suo corso serpeggiante a monte di Grenoble, che promoverebbero un tale disordine.

potrebbe applicarsi, sia per l'essiccamento del terreno, sia per accrescere la copia delle acque irrigue. Cito ivi le opere che ne trattano, fra le quali il *Manuale del fognatore* del distinto nostro agronomo Berti Pichat (Torino 1856). In Francia se ne è pure esteso l'uso, ma in una misura assai più moderata in confronto dell'Inghilterra, malgrado l'incoraggiamento accordato dal Governo con prestiti ammortizzabili a condizioni vantaggiose, ed anche con premi. Vedansi per questo oggetto i cenni che se ne porgono negli Annali de' ponti e strade mediante i mentovati estratti sulla situazione dell'impero.

Art. XIX. — **Fognatura delle acque immonde di grandi città e loro utilizzazione.**

295. Nell'articolo precedente ci siamo occupati dei bonificamenti di estesi territori, sia per aumentare i prodotti del suolo, sia per uno scopo igienico. Ora verremo a parlare di quei provvedimenti che risguardano l'ultimo oggetto, e cioè la salubrità di popolosi centri abitati, che potrebbe venire compromessa dall'immondezza delle acque che vi scorrono. In ciò la Lombardia fino da remoti tempi avrebbe offerti i primi esempi, particolarmente in Milano ed in Cremona.

296. Nelle *Notizie naturali e civili sulla Lombardia*, ho offerti alcuni cenni della artificiale diversione de' fiumi dell' alta pianura milanese onde raccoglierne le acque nella metropoli insubra per fini strategici, industriali, ed igienici. Nella posteriore Memoria precitata del 1860, *Dell' origine e progresso della scienza idraulica*, sono entrato in più estesi particolari sopra questo argomento, anche all' appoggio di documenti storici, dimostrando come fino dal medio evo siasi tratto partito dalle acque immonde della Vettabia per fertilizzare terreni mediante l' irrigazione. Nelle mie Memorie sulle irrigazioni del Cremonese (1), ho poi dimostrato come quel Municipio siasi adoperato per seguire l' esempio dei Milanesi, onde

(1) *Dei progetti intesi a provvedere alla deficienza di acque irrigue nel Cremonese.* Milano 1858. Vedi anche gli *Atti dell' Istituto Lombardo* ed il *Giornale dell' Ingegnere Architetto.*

La Comunità di Cremona, il Naviglio Civico ecc. Milano 1868. Vedasi pure il *Giornale* precit.

estendere le irrigazioni mediante canali derivati da sorgenti e da fiumi, e destinarle eziandio a scopi edilizi della città. Al qual fine verso la metà del secolo XIII sarebbesi ivi attuato un sistema di cloache, le quali si diramavano ne' vari quartieri della città, e si espurgavano con acque vive, dapprima del Naviglio Vecchio, e quindi di questo e del Naviglio Nuovo. Notai pure come quel provvedimento cessasse, principalmente per usurpazione delle acque a ciò destinate, e come ora si possa far rivivere.

297. Mentre quei miglioramenti edilizj praticavansi presso di noi da sei o sette secoli, solo in questi ultimi anni vennero attivati, in una scala invero gigantesca, nelle due principali metropoli dell' Europa, ove la popolazione si è agglomerata nella mostruosa misura di due a tre milioni d' abitanti. Tanto Londra quanto Parigi sono intersecate da magnifici fiumi, ma le acque di questi venivano non ha guari inquinate dalle immondezze che vi trasportavano le cloache da ambe le sponde; intorno a che aggiungeremo alcuni particolari di non lieve interesse, imperciocchè il ritardo frapposto a provvedervi giovò alla maturità degli studi per riuscirvi colle più felici applicazioni della scienza.

298. Le acque potabili ed edilizie di Londra si attingono dal Tamigi. Avanti al 1847 l' amministrazione edile, comprendente la costruzione delle cloache, procedeva col mezzo di otto commissioni autonome, cosicchè ne derivava una vera anarchia, procedendo i lavori isolatamente senza alcuna connessione fra loro. In vista di ciò, e pressato dal pericolo di una epidemia, il Parlamento con Atto di quell'anno, soppresse tali commissioni, sostituendovene una sola nominata dal Governo col titolo di *General Board of health*, (Comitato generale igienico); ma sotto la sua azione, essendosi rivolte principalmente le cure alla sistemazioue delle cloache parziali, si accrebbe l' afflusso delle acque immonde nel Tamigi, e quindi si aggravò il disordine cui volevasi provvedere. Si ventilarono allora innumerevoli progetti per l'espulsione di esse, fra i quali prevalse quello degli ingegneri Balsagette ed Haywood, del quale parleremo più avanti, steso secondo il concetto del defunto ingegnere Förster del 1850, che nel 1854 venne approvato da Roberto Stephenson e da William Cubitt.

299. Ma per mettere in atto quel piano importava riordinare il sistema amministrativo; ed a tal uopo nel 1856 il Parlamento

divise la metropoli, compresa la *City*, in 36 distretti, i contribuenti de' quali eleggono altrettanti consigli edili. I membri di questi, con una elezione di secondo grado scelgono dal loro seno uno o più rappresentanti, i quali costituiscono il *Comitato edile* di tutta la metropoli formato da 45 di essi, colle più ampie facoltà. Le Società per l'approvisionamento delle acque edilizie nel 1855 erano state costrette ad attingere l'acqua dal fiume risalendo fino ad oltre Hampton Court; e duranti i calori estivi del 1858, attese le fetide emanazioni delle acque e delle spiaggie del Tamigi, le due Camere dovettero sospendere le loro sedute. In quell'anno appunto il nuovo Comitato edile contrasse un prestito di 75 milioni di franchi, che all'atto pratico venne esteso a 105 milioni, ed i lavori si intrapresero colla massima alacrità nel gennaio successivo giusta il predetto piano del quale porgeremo un cenno.

300. La parte settentrionale di Londra, a sinistra del Tamigi, che è la più importante, ha il suo suolo tutto superiore all' alta marea. Preso il fiume siccome asse della città, le cloache che vi discendono in direzione pressochè normale vennero intersecate da tre linee di *collettori*, pel piano alto, pel medio e pel basso. Questi sono formati da gallerie di muratura laterizia di sezione circolare, col diametro che va crescendo da $1^{m},20$ a $3^{m},40$. I primi due collettori si congiungono ad *Oldford*, quindi, a poca distanza ad *Abbey Mills* ricevono il terzo collettore pressochè ultimato, meno pel tratto intermedio ai due ponti di Westminster e di Blakfriars ove deve scorrere incassato nella nuova *via di sponda* (quai) che si sta costruendo (2). Le acque di questo devono elevarsi 11^{m} onde unirsi a quelle degli altri due collettori, mediante otto macchine a vapore della complessiva forza di 1140 cavalli, cui sono applicate 16 caldaie. Da quel punto comincia l'emissario costituito da tre gallerie, che si possono far comunicare fra loro, il quale dopo 9 chilometri mette capo al serbatoio di Barking-creek della superficie di quattro ettari e della capacità di 154,000 m. c. Questo ad ogni intervallo di 10 ore, al primo discendere dell'alta marea, si scarica per due ore nel fiume, lo che avviene in pari tempo direttamente anche per l'emissario. Mentre il serbatoio trovasi a

(2) Quest'opera magnifica venne compiuta, ed il 22 luglio 1870 inaugurata ed aperta al pubblico.

12 chilometri dal *Ponte di Londra*, colla misura preaccennata rispetto allo scarico delle acque, questo viene equivalere a quello che si avrebbe in bassa marea ad una maggior distanza di 19 chilometri, cosicchè riesce impossibile che le immondezze risalgano presso la città sotto l'azione del flusso. Ove i collettori attraversano in Londra i thalwegs delle cloache, hanno dei soratori pei quali, nel caso di forti acquazzoni, versano in partè direttamente le acque nel fiume, attesa l'insufficienza della loro capacità e di quella del serbatoio in tali circostanze straordinarie.

301. La parte meridionale della città a destra, ove sono principalmente riuniti gli stabilimenti industriali, è la più depressa e malsana. I collettori dei piani alto e medio sono divisi in due bracci che si uniscono fra Deptford e Greenwich, ove ad essi si aggiunge quello del piano basso, rialzandone le acque $5^{m},40$ mediante quattro macchine a vapore della complessiva forza di 500 cavalli. Da quel punto l'emissario, consistente in un condotto di sezione circolare, col diametro di $3^{m},50$, lungo 12 chilom., mette capo al serbatoio di Crossness, rialzandosi ivi di nuovo le sue acque di circa 6^{m}, mediante altre quattro macchine a vapore di egual forza. Questo serbatoio rimane 3 chilometri a valle dell'altro a sinistra. Nel 1868 i lavori erano ultimati (3).

302. Rispetto all'utilizzazione delle acque, in quanto alla parte a sinistra, si sarebbe costituita nel 1865 una società sotto il titolo di *Metropolis sewage and Essex reclamation*, la quale stipulò una convenzione col Comitato edile di Londra per utilizzare le acque immonde. Dapprima intendeva divertirle da Abbey-Mills, ove vedemmo essersi stabilite le macchine a vapore per rialzare quelle del piano basso; ma di poi avrebbe preferito la località del serbatoio di Barking-creek. A tal fine si farebbe di là partire un condotto della lunghezza di 70 chilometri, e di 3^{m} di diametro,

(3) Vedasi la Memoria dell'ingegnere in capo Mille: *Étude sur le drainage de Londre et l'utilisation des eaux d'égout en Angleterre. Annales des Ponts et Chaussées*, 1867, sem. II. Fino dal 1855 nel II sem. di quel periodico aveva egli inserito la Memoria: *Sur le mode d'assainissement des villes en Angleterre.*

Vedasi pure il Rapporto dell'ingegnere delle miniere Freycinet al ministro d'agricoltura e commercio, *Sur l'emploi des eaux d'égout de Londres. Annales des P. et Ch.*, 1869, sem. I. Di quegli scritti si è inserito un estratto nel *Politecnico* del 1869, e si prosegue in quello del corrente anno.

il quale ne' primi dodici chilometri formerebbe due salti per alzare le acque di $19^m,50$, e quindi distribuirle per sola forza di gravità. Dietro ulteriori studi verrebbe accresciuta la misura di tale alzamento; una parte delle acque si destinerebbe a fertilizzare una estesa superficie di sabbie sulla spiaggia del mare, formandovi circondari arginati con condotti scoperti d'irrigazione e di scolo, i quali ultimi si scaricherebbero in bassa marea. Lateralmente poi al condotto principale si praticherebbero le diramazioni per irrigare terreni coltivi ad un prezzo medio di 15 centesimi circa al metro cubico. Le acque si distribuirebbero nella naturale loro condizione senza preliminare preparazione chimica per depurarle. Nei primi due anni si sono incominciati i lavori; ma successivamente vennero sospesi per difficoltà finanziarie, calcolandosi la relativa spesa in 60 milioni di franchi. Frattanto la Società si occupa di studi sperimentali circa all' effetto di tali irrigazioni sopra 70 ettari di terreno leggero con sottosuolo di ghiaja (4).

303. Per ciò che concerne la parte destra, vi fu nel 1866 una proposta del signor Ellis, il quale utilizzerebbe le acque del serbatoio di Crossness, divertendole con un condotto di $3^m,50$ di diametro, che in lunghezza di 3200^m si alzerebbe per 85^m a piano inclinato fino ad un vasto serbatoio collocato sull' altipiano di Shorne, dopo essere stato impinguato cogli scoli di Darford e di Gravesend. La spesa sarebbe di circa 50 milioni, e calcolasi che per tal modo si potrebbero distribuire 270,000 m. c. al giorno, ossieno 100 milioni di m. c. all'anno sopra 78,500 ettari di terreni coltivi. Dicesi che la spesa per alzare con macchine a vapore quel corpo d'acqua a così enorme altezza non supererebbe annualmente lire 1,715,000 ossieno centesimi 1, 7 per ogni m. c., lo che starebbe col dato che ivi, atteso il basso prezzo del carbone di 15 franchi la tonnellata, l'alzamento verticale di un m. c. d'acqua a 150^m di elevazione, ossia di 150 m. c. ad un metro, non costa più di un centesimo (5). Finora quella proposta non ha avuto alcun principio di esecuzione.

(4) Vedansi le Memorie precitate, e la più recente notizia dell' ingegnere Alfredo Durant-Claye, *Travaux d'assainissement de Londres. Annales des Ponts et Chaussées*, 1869, sem. II.

(5) Freycinet, Memoria precitata, pag. 514 e 566.

304. Abbiamo veduto come a Londra, atteso il dicentramento amministrativo, tornasse difficile il provvedere alla sistemazione delle fogne; come dopo un tentativo di accentramento sotto la diretta azione del Governo si fosse accresciuto il disordine, e come ritornando ad un dicentramento, ma più razionale, siasi infine riusciti ad apportarvi in breve tempo un radicale rimedio. A Parigi le cose procedevano con un ordine ben diverso. La gestione dell'erario civico era ivi effettivamente affidata ad un unico magistrato dal cui giudizio e volontà dipendeva l' erogazione, non di soli milioni, ma di miliardi per riformare quella metropoli. Egli era naturale che fra tante opere di abbellimento si dovesse pure pensare all' ordinamento delle fogne.

305. Già da oltre due lustri si erano queste raccolte alla destra della Senna con un ampio collettore praticabile, che si porta a sboccare nel fiume presso il ponte di Asnières. Dal 1860 al 1868 s' intrapresero pure i lavori pei collettori alla sinistra, le acque dei quali in quell'anno si fecero passare a destra sotto il fiume mediante sifone formato da due tubi di ferro laminato, del diametro di un metro, per riunirle a quelle del collettore generale presso il suo sbocco nella Senna.

306. In un interessante articolo del 20 febbraio 1869 dell'ispettore generale signor Belgrand (6), è dato ragguaglio del procedimento di quei lavori e del loro costo in quanto concerne la sinistra del fiume. Notasi come rimanessero a compiersi per raccogliere nel collettore generale gli scoli dei quartieri di Saint Marcel, della Glacière, e di Grenelle a sinistra, e di quelli di Auteuil e di Passy alla destra; come pure le opere intese a rendere insommergibili le sponde della Senna in Parigi, ed a chiudere in tempo di piena con porte di rigurgito le antiche bocche delle cloache, che in via ordinaria si conservano aperte onde dar luogo allo scarico delle piene parziali dei collettori in occasione di forti acquazzoni.

307. In quell' articolo è pure dato il disegno della sezione del collettore costituito da una cunetta ove scorrono le acque, accompagnata da due banchine laterali, il tutto coperto da volta. Osservasi come per espurgarli si faccia uso di *vagoni espulsori* (*wagons vannes*), i quali, ostruendo gran parte della sezione della cunetta,

(6) *Annales* precit., 1869, sem. II.

promovono correnti violentissime sotto l'azione del rigurgito che ne consegue; e come pei sifoni sotto la Senna si ottenga lo stesso intento mediante grandi palle, ossieno sfere che si fanno passare per essi dall'una all'altra ripa.

308. In un altro articolo del 30 giugno 1869 degli ingegneri Mille ed Alfredo Durand-Claye (7) si espongono gli studi intrapresi allo scopo precipuo di utilizzare le acque di quelle fogne, delle quali si è determinata la portata e la quantità di torbida che trasportano, e delle materie tenute in soluzione, di cui si è esaminata la natura mediante analisi chimica. Notasi come compiuti i lavori si venga bensì a liberare la Senna dalle immondezze che ne inquinavano le acque nell'interno della città, senza però impedire che si concentrino queste nel fiume presso Asnières, in prossimità dell'abitato, ove formansi sulla destra estesi depositi di limo fetente che nelle magre estive ammorbano il vicinato.

309. Nel 1868 si sono istituite esperienze sopra un campo modello della superficie di un ettaro e mezzo, estraendo giornalmente dal collettore per esservi condotti 500 m. c. d'acqua di fogna, la quale in gran parte venne depurata mediante solfato d'allumina. Avendo di poi nel 1869 il Municipio di Parigi acquistato cinque ettari di terreno per intraprendere le esperienze in più ampia scala, si sarebbero dati in affitto a coltivatori che su di essi adoperavano quelle acque derivate in una quantità decupla; delle quali in parte si cedeva l'uso gratuito ad altri possessori finitimi, indicandosi in un P. S. i risultamenti avutisi fino al 15 ottobre di quell'anno.

310. Conchiude quindi il signor Mille che il depuramento e la distribuzione di quelle acque non sarebbe per importare una spesa maggiore di uno a due centesimi per ogni metro cubico; che se ne potrebbe attendere un immenso vantaggio, sia pei prodotti del suolo coltivato ad erbaggi, sia dal lato igienico; cosicchè impegnandosi quel municipio a promoverne l'estensione, può ricavarne un reddito che in gran parte lo compenserebbe delle spese.

311. In Inghilterra, come vedemmo, si dà la preferenza all'impiego delle acque immonde nella condizione loro naturale. Ma poichè è mestieri anticipare enormi capitali per attuare ivi i piani preaccennati, e d'altronde l'utilizzazione delle acque, e quindi il

(7) *Annales* precit., 1869, sem. II.

reddito relativo non potrebbe verificarsi se non con lento progresso, scorgesi così la difficoltà di raccoglierli, malgrado la copia di essi al confronto di qualsiasi altro paese (8).

312. Per tal modo, rispetto a Londra la questione sarebbe puramente economica; lo che non può dirsi in quanto a Parigi. Ivi essa vestirebbe il carattere igienico, sia per le accennate deposizioni alla foce del collettore generale presso Asniéres, sia perchè fino alla confluenza dell' Oise le acque della Senna sarebbero tuttavia inquinate, particolarmente nelle magre estive, a danno di ragguardevoli centri abitati, quali sono Saint Denis, Montmorency, Argenteuil, Marly, Saint Germain, Versailles e Saint Cloud, che tutti attingono da essa acque potabili. Non dubitasi quindi che in non lungo corso d' anni il Municipio di Parigi non abbia a tal fine a compiere il piano, del quale il signor Mille ha segnata la traccia. Rispetto alle città dell' America, vedasi quanto è esposto al § 390 per le acque di fogna di Chicago sul lago Michigan (9).

Art. XX. — **Canali d' irrigazione derivati da fiumi, laghi, sorgenti, e da serbatoj artificiali.**

313. La Lombardia è il paese ove al risorgere della antica civiltà si intrapresero le prime opere per convertire le aride lande dell'alta pianura in ridenti prati, ed in campi ubertosissimi, mediante l' irrigazione. Solo sul cadere del precedente secolo si pub-

(8) Freycinet, Memoria precit., pag. 328.

(9) Mentre era alla stampa questo foglio, uscì il fascicolo di luglio 1870 degli Annali de' Ponti e Strade, nel quale è inserito un interessante articolo dell' ingegnere Alfredo Durand-Claye intitolato: *Sur l'assainissement de la ville de Bruxelles*. Ivi si dà ragguaglio dei grandiosi lavori ora intrapresi nella metropoli del Belgio, sia per l' abbellimento della città, col coprimento del fiumicello *Senne* che l' attraversa, sia per l' espulsione delle acque di fogna. A tal uopo, sull' esempio di quelli analoghi eseguiti a Parigi ed a Londra, si stanno costruendo due collettori laterali a quel fiumicello, i quali si riuniscono in un collettore generale a valle. Questo dovrebbe mettere capo alla distanza di cinque chilometri dalla città ad un podere di 600 ettari da ridursi a praterie irrigabili con tali acque, previo rialzamento di esse per 5 a 10^m; scaricandone poscia nel fiume gli scoli, che per siffatto modo riuscirebbero pressochè depurati, e quindi innocui. Circa a quest' ultima parte del progetto notasi che vi sono tuttavia dei dispareri. I lavori dovrebbero compiersi dalla Società assuntrice nel 1871. In tale scritto si porgono eziandio notizie sui regolamenti di pulizia edile di quella città che oggidì, cogli annessi sobborghi, conta 328000 abitanti.

blicò da eruditi qualche notizia più o meno positiva sull' origine di quei miglioramenti agricoli, la storia de' quali si offerse di poi nell'opera del Bruschetti del 1834 sull' irrigazione del Milanese, ricca d'erudizione, ma deficiente di un indice delle materie abbastanza esteso ed ordinato, cosicchè arduo riesce richiamare i fatti ivi esposti (1).

314. Venuto nel 1842 nell' Alta Italia l' ingegnere francese Nadault de Buffon, vi raccolse i dati per pubblicare l' anno seguente la sua opera *Des canaux d' arrosage de l'Italie septentrionale* ecc. Essa può considerarsi siccome il primo trattato sull' irrigazione, corredato di disegni ricavati principalmente dai pubblici ufficj pei manufatti di derivazione dei grandi canali irrigui dai fiumi, oltre a quelli degli altri edifizi concernenti le loro diramazioni (2).

315. Nelle precitate Notizie naturali e civili del 1844 ho offerto al capitolo V un sunto istorico descrittivo e statistico dei canali irrigui della Lombardia, ove appare come in ciò i suoi municipj si affrettassero a seguire l' esempio di quello di Milano; lo che di poi si è fatto anche per opera di semplici privati. Nella successiva Memoria del 1860, *Dell'origine e progresso della scienza idraulica* ecc., entrai in maggiori particolari sui canali irrigui del Milanese, dimostrando che nella prima metà del secolo XII le irrigazioni furono introdotte dai monaci Cistercensi di Chiaravalle, mediante il canale Vettabbia impinguato dalle acque di fogna della città di Milano, e che pochi anni dopo i loro confratelli di Morimondo, venuti dalla Francia, ne seguirono l'esempio con un piano più ardito. Imperocchè essi derivarono dalla bassa valle del Ticino il canale Ticinello, che i Milanesi, dopo la battaglia di Legnano,

(1) *Storia dei progetti e delle opere per l'irrigazione del Milanese.* Lugano, presso Giuseppe Ruggia e C., 1834. — Nel 1822 erasi pubblicata in Milano la Memoria del Berra sulle marcite, ossieno prati invernali.

(2) *Des canaux d'arrosage de l'Italie septentrionale dans leurs rapports avec ceux du Midi de la France.* Paris, 1843. — Successivamente ne è uscita una seconda edizione sotto il titolo: *Des canaux d'irrigation de l'Italie septentrionale envisagés sous les divers points de vue de la science hydraulique* ecc., Paris 1861. Dunod. Per quanto concerne i colatori, di cui abbiamo parlato dal § 218 in avanti, vedasi la nota all'art. VIII della precitata Relazione Messedaglia sulla Monografia del Mississippi (*Giornale dell' Ingegnere Architetto* del 1863), ove si fa osservare che in quella nuova edizione l' autore avrebbe copiate sette pagine de' miei scritti, facendo credere d'avere attinto alle antecedenti sue pubblicazioni.

nel 1177 rivolsero alla loro città, e nel secolo susseguente ampliarono, sia per estendere le irrigazioni, sia per migliorare la navigazione da Milano al Lago Maggiore, come si vedrà in appresso.

316. Nel 1851 l'ingegnere R. Pareto pubblicava a Parigi l'opera, *Irrigation et assaissement des terres*, la quale nel 1855 veniva tradotta in italiano coll'aggiunta di note dall' ingegnere Parrochetti (3). Nello stesso anno 1851 venne a visitare le irrigazioni dell' Alta Italia il compianto ingegnere Baird-Smith, inviatovi dalla Compagnia delle Indie Orientali, il quale pubblicò di poi l'opera *Italian irrigation*. Ivi in appendice dà un interessante ragguaglio dei canali irrigui dell'Indostan, e particolarmente di quello del Gange, di cui in gran parte aveva diretta la costruzione, e che è il più grande del mondo, sia per la portata, sia per la lunghezza (4).

317. Mentre quelle opere pubblicavansi all'estero sulle nostre irrigazioni, ove si accennano le regole quivi seguite per regolarle, usciva in Milano nel 1842 il pregevolissimo *Manuale pratico d' idrodinamica* del compianto ingegnere Colombani, riprodotto con due edizioni nel ventennio successivo, ove in ristretto volume vedesi condensato quanto la scienza può suggerire nelle pratiche sue applicazioni ai canali artificiali, e particolarmente a quelli d' irrigazione (5). Nel 1851 pubblicavansi pure gli *Esperimenti idrometrici*, sulla portata dei moduli d'acqna cremonese, milanese e piemontese, del prefato ingegnere Parrochetti, Memoria interessantissima per appianare le discrepanze che vi erano su questo particolare (6).

318. Anche negli ultimi tempi eransi eseguiti lavori importantissimi per estendere maggiormente l' irrigazione in Piemonte e nella Lombardia, ove sul cadere dello scorso secolo si derivava dall'Oglio il nuovo Naviglio Pallavicino nel Cremonese, e nella prima metà di questo si escavavano i canali Lorini, ossia Marocco, e Taverna, oltre a quello di navigazione di Pavia, destinato pure insieme coi precedenti ad estendere l' irrigazione in quella provincia, del quale si parlerà più avanti. Ma intorno ai primi nulla

(3) Milano, presso Saldini.

(4) *Italian irrigation*. Edinburg and London, 1855. Dalla descrizione di quel canale del Gange (T. I, pag. 372-376) appare che la sua lunghezza è di 455 miglia inglesi e la portata di 191 m. c. per 1".

(5) La 3.ª edizione è del 1861. Milano, presso Salvi.

(6) Milano, presso Chiusi.

si era pubblicato presso di noi, ove prevaleva l'abitudine di fare, piuttosto che di scrivere; al che in parte supplirono le opere straniere precitate.

319. Attesi per altro i progressi della statistica de' fiumi, fu dato rilevare come potessero sussidiarsi ed estendersi in notevole misura le attuali irrigazioni, al qual fine rivolsi i miei studi al Cremonese, ove sentesi più che mai il bisogno di provvedere alla penuria delle acque irrigue. Conoscendo ne' più minuti particolari quel territorio, ove ho percorsa la più parte della mia carriera, nella Memoria del 1858: *Dei progetti intesi a provvedere alla deficienza di acque irrigue nel Cremonese,* premessa una descrizione storico-idrografica di esso, presi in esame le anteriori proposte di impinguare i canali attuali con derivazioni dall' Oglio, dalle sorgenti di Fornovo, e finalmente dall'Adda (7). Rispetto a quest' ultima, venni a dimostrare come nella stagione estiva si potessero derivare sotto Cassano, quindi a valle delle attuali derivazioni, 25 m. c. senza incontrare ostacoli di qualche considerazione, e come col tempo vi si potessero associare gli altri due progetti. Nella successiva mia Memoria del 1863: *Altre considerazioni sulle irrigazioni della Lombardia,* all' appoggio di ulteriori dati statistici sull' Adda, notai come la derivazione da questa potesse spingersi a 35 m. c. (8).

320. Una difficoltà si opponeva per altro all' attuazione di quei progetti, poichè vi erano dissensi sul modo di provvedervi per la parte economica ed amministrativa. Mi determinai quindi a pubblicare nel 1868 la Memoria: *La Comunità di Cremona, il Naviglio Civico, ed i progetti di nuovi canali irrigui per quella provincia* (9). In essa ebbi a provare essere erronea l' opinione che il Naviglio Civico appartenga all' odierna Comunità di Cremona, la cui giurisdizione si limita alla città murata. Quella invece dell' antica Comunità che fece escavare tanto il vecchio che il nuovo Naviglio Civico, si estendeva all' intero suo contado, ossia provincia. Quantunque per semplice consuetudine l' attuale Municipio di Cremona continui nell'amministrazione del Naviglio Civico, mediante il con-

(7) Milano. Vedi anche gli *Atti dell' Istituto Lombardo,* T. II, ed il *Giornale dell' Ingegnere Architetto* per quell' anno.

(8) *Atti dell' Istituto* precit., T. III; *Giornale dell' Ingegnere Architetto* per quell' anno.

(9) Milano, Tipografia degli ingegneri, e *Giornale dell' Ingegnere Architetto.*

tributo degli utenti delle acque da esso estratte, pure a termini di diritto essa dovrebbe passare all' autorità provinciale. Proponeva quindi che questa facesse rettificare il progetto pel nuovo canale da derivarsi dall' Adda, e per la sistemazione del Naviglio Civico a carico de' suoi utenti, onde renderlo capace di quella quantità d'acqua che si trovasse di aggiungervi per estendere maggiormente con una rotazione più vantaggiosa le irrigazioni, oltre alla reintegrazione della sua competenza, salva la vendita dell' acqua disponibile; facendo fronte alle spese mediante un prestito ammortizzabile a termine alquanto lungo.

321. Se col perfezionamento della coltura irrigua, particolarmente nella provincia superiore, e nella parte occidentale di essa che maggiormente sarebbe atta alla rotazione seiennale del Lodigiano, avesse a riconoscersi l'opportunità di valersi, come si disse, eziandio delle acque dell'Oglio, e di quelle delle copiose sorgenti di Fornovo e dei prossimi territori, utilissime nella primavera e nella stagione jemale per la coltura de'prati marcitoi, la cosa potrebbe avere effetto con minori difficoltà rispetto alle ultime, che si unirebbero al nuovo canale dell'Adda. Con questo poi si potrebbero sussidiare, particolarmente nell' estate, anche le irrigazioni del territorio cremasco che verrebbe ad attraversare; cosicchè non sarebbevi alcun motivo di incontrare ivi le opposizioni che dapprima si erano elevate.

322. Per una rivalità fra i tecnici che stesero il primo progetto di derivazione dall' Adda sotto Rivolta, due di questi, partendo dal supposto di difficoltà amministrative circa al Naviglio Civico, che io avrei appianate coll'ultima Memoria precitata, pubblicarono un nuovo progetto. Tratterebbesi di derivare dall' Adda, ma in un punto inferiore nel territorio di Marzano, il canale con cui si attraverserebbero le paludi, ossieno Mosi di Crema, che si intenderebbe di bonificare, distribuendo l' acqua ai singoli canali privati in prossimità di Genivolta (10). Non vedesi come verrebbe stabilita la derivazione con un sistema di scaricatori, e d' altronde per siffatta guisa sarebbe tolto di sussidiare le irrigazioni del superiore territorio cremasco nel modo accennato con quella mia Memoria. Altro ingegnere poi ha proposto di derivare dall' Oglio soltanto in

(10) *Nuovo progetto degli ingegneri Fieschi e Pezzini per la derivazione di un canale dal fiume Adda* ecc. Cremona 1869.

diversi punti le acque occorrevoli per le irrigazioni cremonesi, che suppone sufficienti. Con tali variazioni di piani si riesce così a conchiudere nulla, malgrado l'estrema penuria d'acque nella quale versa quella provincia.

323. Nel giugno 1862 fu discussa nella Camera dei Deputati l'attuazione del progetto del Canale Cavour, col quale si dovevano derivare dal Po presso Chivasso 110 m. c. d'acqua irrigua a beneficio del Vercellese, del Novarese e della Lomellina. Lo Stato avrebbe garantito per 50 anni ad una società concessionaria l'interesse del 6 per 100 sopra circa 60 milioni di lire per quel canale, colle sue diramazioni, e sopra altri 20 milioni, importo dei canali demaniali delle antiche provincie che si sarebbero ceduti alla società stessa, oltre all'ammortamento graduale del capitale impiegato in tale periodo. Non occorre tessere la storia della crisi cui soggiacque quella mal augurata concessione, per la quale lo Stato si è addossata un'ingente passività senza contributo qualsiasi dei territori interessati, i quali, eseguite le opere, sono ben lungi dal concorrere nell'acquisto od affitto delle acque ad un'equa misura rimuneratrice degli enormi sacrifici cui esso si è sottoposto, lo che è inevitabile quando l'offerta precede la domanda.

324. Di quel progetto l'autore signor ispettore Noè non pubblicò se non una corografia accompagnata da un profilo di livellazione. L'ingegnere Bertozzi nella sua Memoria *Sulla derivazione di un canale dal Po progettato dall' ingegnere cav. N. Noè,* dà ragguaglio di questo, dei termini della concessione, ed espone il calcolo della presupposta rendita di oltre tre milioni che se ne potrebbe ricavare (11). Dal 1865 al 1869 apparvero nel *Politecnico* parecchi ar-

(11) Torino 1862. Nei calcoli istituiti in quella Memoria si facevano ascendere i redditi presuntivi del nuovo canale per 110 m. c. d'acqua che si supponeva potersi estrarre, a lire 3,200,000, in ragione cioè di lire 29,000 per ogni m. c.; mentre dagli 86 m. c. dei canali demaniali, che temporaneamente si cedevano alla società concessionaria, si ricavavano sole lire 812,000, in ragione perciò di lire 9,442 per m. c. Il divario è assai notevole, avuto ben anche riguardo alla più scadente qualità dell'acqua di questi a confronto di quella del Po. L'ingegnere Bertozzi faceva con ragione le meraviglie che, mentre venivasi ad attuare quel progetto, non si fossero in precedenza fatti studj sulla portata del Po nelle magre estive. E che ciò fosse di non lieve importanza, lo dimostra il fatto che tale portata misurata direttamente col molinello di Woltmann il 15 agosto 1864, sarebbe risultata di soli 38 m. c. nel fiume. Egli è ben vero che a completare la competenza del canale si potrà ricorrere alla Dora Baltea, ricca d'acque in quella stagione, le quali per altro saranno sempre di qualità più scadente.

icoli nei quali si porgono maggiori particolari sulla parte tecnica lel progetto, sulle condizioni stipulate coi concessionari e da questi coll'Impresa esecutrice, sul procedimento delle opere, e sugli ntralci sopravvenuti; aggiungendosi i disegni dei manufatti più importanti.

325. Nell'atto di concessione facevasi credere che con quel canale sarebbersi rigenerati, non solo i territori preaccennati, ma eziandio una considevole superficie di quello della Lombardia. Si fu in tale circostanza che pubblicai la mia Memoria: *Sui progetti intesi ad estendere l'irrigazione della pianura nella valle del Po,* dimostrando in pari tempo come fosse illusoria tale riserva, attesa particolarmente l'elevazione della pianura lombarda sulla quale si dovrebbero condurre le acque, e l'interposizione del profondo avvallamento del Ticino (12).

326. In quella Memoria feci osservare quanto fosse considerevole la portata estiva del Ticino; come la sola derivazione di acque irrigue dal lago di Lugano fosse insufficiente per le esigenze dell'alta pianura milanese; e come si potesse derivare per essa dal Lago Maggiore un canale della portata di circa 40 m. c. col quale si sarebbe arrecato sussidio anche alle irrigazioni attuali e legata tanto in ascesa quanto in discesa la navigazione del Po a quella del lago.

327. In tale scritto richiamava la mia proposta preaccennata per la derivazione dall'Adda sotto Cassano di un canale a sussidio delle irrigazioni cremonesi, dimostrando poi come non convenisse praticare invasamenti nel lago d'Iseo per accrescere la copia delle acque irrigue derivate dall'Oglio. Rispetto al Mincio notava come se ne potesse derivare alla destra un canale per la irrigazione della Campagna di Goito e dei prossimi territorj. Ed in quanto all'Adige, dopo avere indicato qualche progetto anteriore per l'irrigazione della Campagna Veronese, indicava quali modificazioni sarebbe stato opportuno d'introdurvi.

328. Le due Società del conte Annoni e del Canale Cavour fecero intraprendere studi per l'attuazione del mio progetto del canale da derivarsi dal Lago Maggiore. Nel 1863 pubblicai su

(12) Vedansi il *Politecnico* per gli anni preaccennati, gli *Atti dell'Istituto* precit., T. III, ed il *Giornale dell'Ingegnere Architetto* del 1863.

questo particolare la seconda Memoria precitata: *Altre considerazioni sulle irrigazioni della Lombardia, e particolarmente su quella dell' alta pianura milanese, con studj idrologici sull' Adda e sulle sue derivazioni.* In una lunga nota ripiglio la questione degli invasamenti del Lago d' Iseo, dimostrando l' inattendibilità della proposizione dell' ingegnere Ponzetti che con quel mezzo *si possono conservare nei nostri laghi le acque che piovono naturalmente in tutto l'anno per distribuirle nei mesi di asciutta;* intorno al qual punto così conchiudo: « L' idea poi di rendere più regolare, me-
« diante invasamenti artificiali, il reggime de' nostri fiumi lacuali,
« utilizzando le acque esuberanti per alimentare le magre, e ri-
« durre i deflussi ad approssimarsi alla media, quantunque sembri
« plausibile in astratto, all'atto pratico riesce assolutamente assurda.
« Imperocchè si richiederebbero opere colossali, incompatibili colla
« condizione delle adiacenze lacuali, e si accrescerebbe la portata
« delle piene di efflusso ad una eccessiva misura, colle più disastrose
« conseguenze, le quali per essere dipendenti dalla mano dell'uomo
« porgerebbero titoli ineccepibili ad enormi risarcimenti. Se nelle
« precedenti considerazioni, attingendo i dati a lunga esperienza,
« a' miei studi speciali e quindi all' inesorabilità dei fatti, non mi
« è permesso di far eco ad un piano generale di miglioramenti,
« basato sopra combinazioni a mio avviso inattuabili, mi riesce
« però di somma soddisfazione lo scorgere come essi possano
« mandarsi ad effetto in una proporzione poco minore, senza por-
« tare cangiamenti notevoli ad un ordine di cose che vedemmo
« essere ammirabile, ed esistente da secoli, rimovendo così la più
« grave difficoltà che si opponga alla loro esecuzione ».

329. Avendo in quel torno scorto che eransi incoate trattative fra il Governo Italiano e quello del Canton Ticino per un piano inteso ad abbassare le piene del Lago Maggiore, pubblicai la mia *Memoria intorno al progetto* di tale abbassamento, ove dimostrai i dannosi effetti che ne sarebbero derivati sia pel reggime del Ticino, sia per quello del Po (13). In quell' anno stesso uscì una proposta degli ingegneri Villoresi e Meraviglia per associare ad una derivazione dai laghi di Lugano e di Varese altra dal Lago Maggiore mediante una chiusa presso la rapida Miorina; proposta

(13) *Atti dell' Istituto* precit., T. III. *Giornale dell' Ingegnere Architetto* del 1863.

che presi in considerazione nella precitata mia Memoria, ove dimostrava l'erroneità dei dati statistici da cui gli autori partivano, ed i pregiudicevoli effetti che ne deriverebbero. In una successiva mia Appendice dimostrai pure l'erroneità dei calcoli contenuti in altra di quegli stessi proponenti, che mediante la loro chiusa pretendevano di abbassare le piene tanto del Lago Maggiore quanto del Ticino e del Po, cosicchè sarebbe stata una vera panacea. Il mio amico Possenti in una lettera del 12 aprile 1864 inserita nel *Giornale dell' Ingegnere Architetto* (pag. 229), dichiarò che conveniva nella mia opinione rispetto agli effetti degli invasamenti, e che la questione non è punto di semplice maneggio di paratoie come credevano i proponenti.

330. In quell'anno uscì nel Politecnico il progetto Tatti e Bossi, che in massima corrisponde al mio per la derivazione del canale dall' emissario del Lago Maggiore, solo che si modificherebbe la forma dell'edifizio a tal uopo destinato, e la linea di congiungimento del nuovo canale col Naviglio Grande per la navigazione, aggiungendovisi inoltre un acquedotto sussidiario derivato dal Canale Cavour, traversante la valle del Ticino, ed altro intersecante l'Adda per due successive diramazioni dirette a sopperire al difetto di acque irrigue pei territorj di Bergamo e di Cremona. In un' Appendice a quella Memoria si porge qualche cenno sull'andamento dei lavori intrapresi per la costruzione del canale Cavour.

331. Riuniti i vari progetti dalla Deputazione provinciale di Milano, essa li sottopose all'esame di una Commissione, la quale presentò la propria Relazione il 30 settembre 1866 (14). Questa avrebbe considerato ammissibile tanto il progetto Possenti per derivare mediante un lungo condotto sotterraneo, e col sussidio di invasamenti, 24 m. c. d' acqua dal lago di Lugano, quanto l'altro per estrarre 72 m. c. dal Lago Maggiore, da assegnarsi per 44 m. c. alla provincia di Milano in aggiunta alla prima, destinando i residui m. c. 28 a sussidio delle irrigazioni delle provincie di Bergamo e di Cremona. A tal uopo essa avrebbe proposto di applicare all' emissario del Lago Maggiore una chiusa destinata, non solo ad invasamenti per sopperire nella magra alla deficienza delle

(14) ***Relazione della Commissione incaricata dell' esame dei progetti per l' irrigazione dell' Alta Lombardia*** **ecc. Milano, presso Bernardoni.**

acque irrigue, ma per abbassare eziandio il livello delle piene. A corroborare quest'ultima proposta, aggiunse dei calcoli comprovanti l'innocuità di tale misura, all'appoggio dei quali la maggioranza di essa Commissione dichiarava essere *sempre in potere dell'uomo di disporre delle acque defluenti dal Lago Maggiore in qualsiasi stato, come meglio gli aggrada e come la prevalenza de' propri interessi economici fosse per consigliarlo.*

332. Sottoposto il voto della Commissione al Consiglio provinciale di Milano, questo prese una deliberazione, il cui primo articolo è il seguente: « 1.° La provincia di Milano si obbliga per la somma « di cinque milioni di lire a titolo di sussidio a capitale perduto « nella spesa di costruzione di canali che, derivanti per ogni mi- « nuto secondo non meno di 44 m. c. d'acqua dal Lago Maggiore, « e di 24 m. c. dal lago di Lugano, provvederanno sufficientemente « alla irrigazione della zona dell'agro milanese compreso fra i colli « di Varese e la Brianza, il quale sussidio non verrà consegnato « se non quando la condotta delle acque sarà stata compiuta e « perfezionata ». Il 2.° articolo risguarda la navigabilità del canale dal Lago Maggiore al Naviglio Grande, ed il 3.° il sussidio dello Stato da invocarsi.

333. Dopo quella deliberazione l'ingegnere Tatti pubblicò nel Politecnico una Nota, ove dimostra la convenienza di escludere la derivazione dal Lago di Lugano, e di limitarsi a quella dal Lago Maggiore ma senza la chiusa, e con una spesa non eccedente 20 milioni (15). Dopo d'allora nel Giornale dell'ingegnere architetto apparve una Relazione del Marchese Pareto al Ministro d'Agricoltura e Commercio, ove fra i diversi progetti darebbe la preferenza a quello degli ingegneri Villoresi e Meraviglia. Anche il Ministro dei lavori pubblici incaricò una Commissione d'Ispettori per visitare i luoghi e riferire sul merito dei progetti presentati.

334. Io pubblicai allora la mia Memoria: *Il voto della Commissione provinciale sui progetti di canali irrigui per l'Alto Milanese, e sulla sistemazione dell' emissario del Lago Maggiore* (16). In essa presi a dimostrare l'inattendibilità dei calcoli dai quali è partita

(15) *Osservazioni alla Relazione della Commissione provinciale per l'esame dei progetti per l'irrigazione dell' Alta Lombardia e proposta di un nuovo progetto.* Milano 1867.

(16) *Rendiconti del R. Istituto*, fasc. IV e V, 1867. *Giornale dell'Ingegnere Architetto*, 1867.

la Commissione provinciale per appoggiare il piano da essa proposto, e le funeste conseguenze che deriverebbero dalla sua attuazione, particolarmente ove sopravenisse una piena del Lago Maggiore quale fu quella memorabile del 1705. Anche l'ingegnere Tatti espose nuove considerazioni che in generale collimavano colle mie, dichiarando inconcludente la Relazione del Marchese Pareto, il quale confessava di non avere esaminati tutti i progetti da porsi a confronto (17).

335. Malgrado ciò uscì il decreto reale 30 gennaio 1868, col quale venne accordato agli ingegneri Villoresi e Meraviglia la concessione delle derivazioni di canali irrigui dai laghi Maggiore e di Lugano col mentovato piano, che attuato in tutta la sua estensione potrebbe richiedere, tanto per la stagione jemale, che per l'estiva, invasamenti in una misura maggiore di quella considerata dalla Commissione provinciale di Milano. In quel decreto è detto « che « l'attuazione del progettato divisamento non può arrecare alcun « pregiudizio al buon governo delle acque pubbliche, nè all'inte- « resse dei terzi, *quando si osservino le opportune cautele* ». Contro tale decreto reclamò il Consiglio provinciale di Pavia, il quale non era stato a termini di legge consultato avanti alla seguita concessione, quantunque il territorio di quella provincia sia esposto ai maggiori danni per le piene del lago Maggiore; ma non consta che tale reclamo abbia avuto qualche effetto.

336. Le mie previsioni pur troppo si avverarono, e nell'autunno del 1868 avvennero tre piene consecutive del Lago Maggiore, coll'ultima delle quali le sue acque si elevarono a Pallanza ad un metro sul livello di quella memorabile del 1705, cioè a $7^m,60$ sullo zero di quell'idrometro. Di tale evento straordinario ho pubblicata una Notizia, nella quale dimostro che per due volte la piena d'afflusso fu di circa 10,000 m. c. e quella di efflusso, nel colmo di essa, di 4811 m. c. Ma avendo avuto di poi occasione di rettificare i dati delle altezze effettive del lago e di alterazioni avvenute nel fondo del suo emissario, mi sarebbe risultata la piena di efflusso di circa 5400 m. c., quindi presso che doppio di quello della piena massima anteriore di questo secolo del 1840, e del 40 per 100 superiore a quella presuntiva della piena memorabile

(17) *Nuove considerazioni e proposte sul progetto d'irrigazione dell'Alto Milanese.* Milano 1867.

del 1705. In conseguenza di tali rettificazioni la piena massima di afflusso avrebbe raggiunta la portata di 10,800 m. c., superando così di sei decimi la massima del Basso Po, di cui quella di efflusso avrebbe raggiunto gli otto decimi.

337. In tale Notizia, oltre a porgere un sunto dei dati udometrici, dai quali dipendette quel fenomeno memorabile, dimostro come ciò sia conseguenza della particolare disposizione del bacino scolante disposto ad anfiteatro sopra una sviluppata lunghezza di 150 chilometri, con cime altissime delle grandi Alpi sul suo contorno, ed esposto sotto vari rombi ai venti piovosi della marina. Associandosi di fatti per tal modo in straordinaria misura la copia dei vapori da essi trasportati e l'azione refrigerante che li fa precipitare, il Ticino viene a riuscire il più poderoso affluente del Po con piene che supererebbero quelle dello stesso recipiente, se non venissero ridotte a meno della metà per l'azione moderatrice del lago. Dato un cenno degli immensi danni arrecati da quel diluvio alle valli dei tributari del lago, alle adjacenze di questo e sul corso inferiore del Ticino, ove non vennero distrutti i ponti che lo attraversano per essere rimasti isolati coll'esportazione dei terrapieni d'accesso, conchiudo che se per avventura si fosse in precedenza eseguito il mio progetto di derivare dal lago un canale di navigazione e d'irrigazione, con ogni verisimiglianza sarebbero rimasti distrutti i manufatti coi quali proponeva di difendere tale derivazione (18).

338. I concessionarj della nuova derivazione dal lago Maggiore non si sarebbero per altro perduti di coraggio dopo un evento cotanto imponente; e solo avrebbero modificato il loro piano, del quale darò un cenno, ricavato da quello che essi ne porgono in una pagina e mezza di stampa, senza disegno di sorta (19). In luogo della chiusa a stramazzo sopra la rapida Miorina, a circa 3 chilometri sotto Sesto Calende dapprima proposta, essi erigerebbero una chiusa colossale sotto la confluenza della Strona a 10 chilometri da quel punto, e precisamente a 10620^{m} a valle del ponte della ferrovia. Lo zero dell'idrometro di Sesto Calende si troverebbe all'ordinata di 193,16 sul livello del mare. Esso corrispondeva in

(18) *Rendiconti del R. Istituto,* 1869. *Giornale dell'Ingegnere Architetto.*
(19) Vedansi gli *Atti del Collegio degli Ingegneri,* ed il *Giornale dell'Ingegnere Architetto,* fasc. di gennajo e febbrajo 1870.

addietro alla massima magra, la quale per effetto dell'ultima piena si sarebbe abbassata di oltre trenta centimetri.

339. La chiusa sarebbe costituita da 59 aperture o bocche della larghezza di $1^m,50$ per ciascheduna, dell'altezza di 5^m, munite di porte, al disopra della quale altezza essa si eleverebbe di altri $5^m,50$. La soglia della chiusa è posta all'ordinata di 185^m, ed il suo piede a valle a 181^m. Tanto a destra che a sinistra della medesima sono collocati gli scaricatori costituiti per ciascheduno di 39 bocche della larghezza di $1^m,33$, alte 5^m, colle loro soglie a 189^m. Con 12 gradini si ha lo stramazzo delle acque del salto di 7^m sul piano della platea. La derivazione praticasi a sinistra oltre lo scaricatore di quel lato con un'apertura di 36^m ripartita in 10 bocche, cui va unito un edifizio di conca per passare dal fiume a monte nel canale, oltre ad altra conca 47^m a valle pel passaggio dal canale al Ticino inferiore.

340. Il fondo del Ticino verrebbe sistemato sopra una livelletta che incomincia al ponte della ferrovia all'altitudine di 190,52, e termina alla soglia della chiusa a 185^m, quindi con una caduta di $5^m,52$, che sopra la distanza di 10620^m dà la pendenza di $0^m,52$ per chilometro. Le sponde laterali del fiume verrebbero regolate con una inclinazione di 45°, ossia dell'uno per uno.

341. Il Collegio degli ingegneri di Milano incaricò una Commissione di esaminare il progetto, principalmente dal lato economico, a norma dei possidenti che dovrebbero costituire il consorzio per l'utilizzazione delle acque, e questa il 30 aprile 1869 presentò la sua Relazione. Essa ha fermata la propria attenzione sull'articolo 11 dell'atto di sottomissione 15 gennajo 1868 del tenore che segue: « Trascorsi i detti 90 anni l'intera opera con tutti i canali e di-« pendenze rimarranno di assoluta proprietà del demanio dello « Stato, liberi da qualsiasi diritto, peso od altro gravame qualsiasi, « esclusa l'imposta fondiaria a partire da tale giorno, e senza ob-« bligo di rifusione di qualsiasi somma verso i concessionarj od « aventi causa ». Tale clausola la Commissione la considerò strana dal momento che lo Stato non si è vincolato a qualsiasi concorso nella spesa di costruzione dei canali (20).

(20) Mentre pel canale Cavour l'amministrazione dello Stato ha assunto una enorme passività a benefizio di alcune provincie senza contributo qualsiasi di queste, in vero fa senso come pei nuovi canali dell'Alto Milanese, destinati, non solo alla irrigazione,

342. La Commissione stessa non ha voluto, giusta il proprio mandato, entrare a discutere in merito sul progetto sotto i rapporti tecnici. Essa però si mostrò d'avviso di « ricercare mediante nuovi « studj se non sia possibile di praticare la derivazione dal Ticino « mediante opere più semplici e meno costose di quelle progettate « dai Concessionarj, abbandonando il partito di regolare la piena « del lago Maggiore con un colossale edifizio di chiusa attraverso « il Ticino, e mediante le costose opere di sistemazione del fiume « da Sesto Calende fino alla chiusa medesima ». Si fu dopo tale osservazione che i concessionarj pubblicarono un cenno del loro piano del quale si è dato il sunto.

343. Successivamente lo stesso Collegio degli ingegneri, limitandosi sempre a considerare la questione economica ed amministrativa, al fine di costituire uno o più consorzj per l'utilizzazione delle acque di quei canali, fece stendere un progetto di capitolato onde stabilire i rapporti fra i consorzj stessi, i concessionarj e le autorità provinciale e governativa. In esso venne proposto (§ 5) che i canali abbiano ad appartenere ai concessionarj per quarant'anni consecutivi, giusta la fatta concessione, indi *alla perpetuità ai consorzj medesimi* (21).

344. Dopo la presentazione di quel capitolato il piano ideato dai Concessionarj sembra avere trovato favore presso taluno dei dicasteri governativi, che quantunque non abbia presso di sè un personale tecnico, pure pronunziò un giudizio anche sotto tale rapporto. Dicesi di fatti che il progetto presentato è di somma importanza dal punto di vista del reggime de' fiumi affluenti nel lago Maggiore, in quanto che tende a *diminuire la intensità delle piene*

ma eziandio alla navigazione, la quale ad essa incumberebbe, siensi stabilite condizioni regolate sopra principj ben diversi. Imperciocchè dopo avere sottoposto gli usufruenti delle acque al pagamento di un canone annuo di 1000 a 1500 lire *in riconoscimento dell'alto dominio dello Stato*, senza vincolarsi a qualsiasi concorrenza nella spesa, e colla prospettiva di un aumento delle imposte dirette ed indirette conseguente ai miglioramenti agricoli che si opererebbero, dovrebbe dopo 90 anni andare al possesso di un opera eseguita a spese altrui. Non v'ha dubbio che la condizione non potrebbe essere più vantaggiosa alle finanze dello Stato, e quantunque vi abbiano aderito i concessionarj, e l'amministrazione della provincia di Milano, la quale però si è riservata d'invocare il sussidio di questo, si ha motivo di dubitare che, lasciandola sussistere, si possa raccogliere il capitale all'uopo occorrente.

(21) *Atti del Collegio degli Ingegneri*, e *Giornale dell'Ingegnere Architetto* precitati pel 1870.

ed aumentare il volume delle acque in magra con grande vantaggio del reggime del Po.

345. Io che ho fatto qualche studio speciale sul reggime dei laghi non potrei convenire in tale sentenza (22). Incominciando dal grande edifizio della chiusa, mi occorre di osservare che il letto del Ticino presso l'emissario del lago è un aggregato di ghiaje,

(22) Allorchè s'intrapresero dopo il 1837 le opere per la sistemazione del lago di Como, sorsero dispareri fra i tecnici sul piano da seguirsi, e di poi sugli effetti dei lavori attuati. Si fu allora che presi a studiare il reggime dei laghi, pubblicando al principio del 1846 la Memoria sulla loro natura; nel che mi attenni ad un metodo puramente pratico, del quale ho dato un sunto nel precedente art. V. Avanti di pubblicarla volli sentire il parere di un illustre matematico, il quale non vedendo sviluppata la materia col calcolo, la considerò esposta in modo troppo gretto. Dato corso, malgrado ciò, alla stampa nelle Memorie del R. Istituto Lombardo, ne feci tirare per mio conto un centinajo d'esemplari, la più parte de' quali distribuii a' tecnici che supponeva dovessero occuparsene. Da nessun di essi mi fu dato di avere un giudizio, lo che tornava per me di somma mortificazione, dubitando che realmente la sentenza di quel dotto fosse giusta. Ma avendo spedito uno di quegli esemplari all'illustre mio maestro Venturoli, presidente del Consiglio d'arte a Roma, ne ebbi il 4 aprile 1846 una lettera che mi riuscì di non lieve conforto. In essa è detto: *La Memoria sui laghi si annunzia sotto un titolo troppo modesto. Essa è un Trattato il più compiuto che possa desiderarsi su questo ramo importante dell'idraulica, che ben meritava di essere coltivato di proposito, il che nessuno, per quanto mi sappia, aveva fatto.* Seguono espressioni benevole sulle varie parti del mio lavoro da lui esaminato.

Il mio amico Comm. Possenti, che aveva pure scritto sulle opere di sistemazione del lago di Como, ma attenendosi ad un metodo diverso dal mio, non ristette dal preferire questo allorchè prese a trattare del suo progetto per derivare un canale irriguo dal lago di Lugano. Egli osservò che per risolvere i problemi relativi si era valso di un'equazione sviluppata in serie, in quanto chè per quel lago poteva considerarsi costante la superficie. Notava in pari tempo che qualora questa fosse variabile col variar dell'altezza, impossibile tornerebbe l'applicazione di metodi analitici. Vedasi in proposito la nota alla mia Memoria del 1862, pag. 7, *Sulle opere intraprese pel prosciugamento del lago Fucino,* e l'osservazione fatta nel § 47 di questa Guida.

Quantunque il principio, o canone fondamentale sia semplicissimo, pure lo studio dei fenomeni che accompagnano il reggime dei laghi dà luogo a complicazioni che sommamente arduo riesce di appianare; e finora fuori di noi due, i tecnici che ne vollero parlare dettero prova di non avere con sufficiente maturità studiata la materia, limitandosi ad esprimere in termini vaghi opinioni inattendibili, o deduzioni erronee. Uno di questi pubblicò la proposta di derivare da uno dei nostri laghi un canale d'acque irrigue della portata di 60 m. c., col solo dispendio di 18 milioni; ma avendo io riveduto il calcolo, lo avvertii che trattavasi non già di 60, ma di 6 m. c., nel che convenne, attribuendo la prima cifra ad errore di stampa. Ma altrettanto avrebbe dovuto avvenire per l'altra dei 18 milioni di spesa, che non sarebbe proporzionata alla tenue portata del canale.

Altro tecnico, che in una occasione solenne intese indicare i metodi per studiare il reggime dei laghi, proponeva di misurare la portata non solo degli effussi all'emissario,

ciottoli, e ciottoloni di notevole mole provenienti dalle alte coste laterali d'origine diluviale, o glaciale che contiene in copia anche massi erratici. Per siffatta causa il tronco superiore del Ticino ha il fondo disposto a gradinate ove particolarmente in tempo di magra vedonsi alternare mollenti e rapide, taluna delle quali con pendenza del 6 per mille, come sarebbe quella del Panperduto ove dovrebbe appunto erigersi la chiusa. Fra il pelo d'acqua a monte di questa, e quello a valle vi sarebbe una differenza di almeno 12^m, e si ha motivo di dubitare che sotto la pressione di una colonna d'acqua così imponente possa fondarsi l'edifizio sopra strati abbastanza impermeabili da non dar luogo a trapelamenti che ne promoverrebbero la rovina (23).

346. Alle 59 aperture della chiusa si applicherebbero porte della notevole larghezza di $1^m,50$ che dovrebbero manovrarsi con un battente di 9 a 10 metri al che si opporrebbero difficoltà enormi (24). Supposto che fino alle piene ordinarie lo sfogo delle acque debba principalmente procurarsi colle porte più maneggevoli degli scaricatori laterali, si ha motivo di dubitare che col notevole salto

ma ben anche dei singoli affluenti, operazione questa praticamente impossibile, e del tutto inutile. Imperciocchè, conoscendosi gli efflussi ed i contemporanei incrementi o decrementi delle acque del lago ricavabili dalla sua superficie e dalla variazione delle altezze, si vengono a conoscere anche gli afflussi corrispondenti.

(23) Allorchè per facilitare la navigazione in magra occorre approfondare la cunetta su quelle rapide, si suole riuscirvi col rimoverne i ciottoloni più grossi, dopo di che s'accresce l'azione escavatrice della corrente sulle materie meno voluminose.

(24) Nella Nota finale (D) alla mia Memoria sulle inondazioni della Francia ho osservato come per essersi imprudentemente aperta nel 1609 la chiavica delle Quatrelle in occasione di una rotta superiore del Po sia rovinato quell'edifizio nel gorgo che si formò al suo piede; e come, ricostrutto nel 1611 con cinque occhi, per la stessa causa nel 1705 ne rovinassero due. Aggiunsi che nel 1839, dopo le rotte del Bonizzo e di Castel Trivellino si commise la stessa imprudenza di tenere aperta quella chiavica, ed elevatesi ivi le acque d'inondazione in guisa di prevalere di circa 2^m sul pelo d'acqua del Po, inutili riuscirono i tentativi di abbassare le paratoje della chiavica attesa la violenza della corrente, quantunque si ricorresse al sussidio di battipali. La salvezza dell'edifizio per ciò si dovette al taglio dell'argine in prossimità di esso, che mediante tale breccia promosse una controcorrente la quale venne ad attutire quella della chiavica, cosicchè fu dato allora di abbassare le paratoje. Queste nelle chiaviche servono semplicemente a difendersi dai rigurgiti del fiume in piena, e non incontransi difficoltà a manovrarle, quantunque sieno talvolta alte 9^m. ed in varj pezzi. Ma nel caso preaccennato di quella rotta sarebbersi convertite in paratoje di scarico simili a quelle applicate ai soratori negli edifizj di derivazione dei nostri grandi canali. Quivi esse hanno larghezze di solito inferiori ad un metro, e raro avviene che abbiansi a manovrare con

di 4 a 5 metri di un corpo d'acqua della portata di 1000 a 1500 m. c. potesse operarsi il passaggio delle barche dal fiume inferiore nella conca, attesi i movimenti vorticosi, e la considerevole agitazione della corrente.

347. Qualora in una grossa piena venissero trascinati dalla corrente presso l'emissario galleggianti, ossieno legnami e qualche barca, essi si accumulerebbero a ridosso della chiusa, di cui in parte ingombrerebbero le luci, promovendo l'escavazione di profondi gorghi.

348. Avanti all'ultima straordinaria piena, siccome osservai alla pag. 15 della mia Memoria del 1862, *Sui progetti* ecc., il Ticino in magra a valle di Sesto Calende aveva la cadente di soli $0^m,42$ sopra tre chilometri, ossia la pendenza di 0,14 per mille, lo che è attribuibile ad una notevole contropendenza del fondo in quel tratto, al cui estremo formerebbe un dorso, che è la vera soglia dell'emissario. Siffatto tronco acclive costituirebbe così un ostacolo naturale allo scarico delle piene del lago che modera la portata degli efflussi. In ciò concorre anche la disposizione delle spiagge laterali di quel canale con tenue declivio alla sinistra, e più ripide alla destra, ove però costituiscono scarpe del 4 al 5 per uno al piede dell'alta costa. Ma se, giusta il nuovo progetto, venisse sistemato il fondo di esso canale, partendo dal ponte della ferrovia fino alla soglia della chiusa, con una pendenza di 0,52 per mille, ed inoltre si escavassero quelle spiagge in guisa di ridurle ad un uniforme inclinazione dell'1 per 1, e quindi ampliandone la sezione, per tali due cause si accrescerebbe in notevole misura la portata degli efflussi, e con ciò andrebbesi a scemare di molto l'azione moderatrice del lago a danno delle adjacenze del basso Ticino e del Po.

349. L'ordine col quale procedettero nell'autunno 1868 quattro piene successive nel breve periodo di undici giorni, e la straordinaria misura delle ultime tre, è un fenomeno veramente singolare e talmente strano che forse passerà un millenio avanti che se ne

battente di oltre uno a due metri, vincendo l'attrito delle sole scannellature dei gargami. Agevole perciò si è l'inferirne quali difficoltà abbiansi ad incontrare nella manovra di paratoje della larghezza di $1^m,50$ le quali, come nel progetto, dovrebbero aderire non solo ai gargami, ma in parte eziandio alla fronte del muro di rialzo della chiusa con battente di otto a dieci metri.

ripeta altro simile. Siffatta combinazione del tutto eccezionale, ove fosse sottoposta a calcolo, con un aumento di portata di efflusso, giusta il piano proposto, potrebbe forse condurre al risultamento di un efflusso massimo finale minore di quello che si è avuto, attesa l'anticipazione degli efflussi precedenti, ed i conseguenti minori ingombri del lago. Ma se si consideri una combinazione più semplice e quale si verificherà in cento casi al confronto dell'unico preaccennato, di un solo afflusso massimo del Verbano, con una piena massima del Po superiore, che nel 1868 non avvenne, agevole sarebbe il provare che il più rapido scarico della piena del Verbano, approssimandosi maggiormente al deflusso massimo del Po, lo accrescerebbe in notevole misura con immenso danno delle adjacenze di questo (25).

350. La piena autunnale del Po del 1868, che a Pontelagoscuro eguagliò le massime del 1839 e del 1857, superandole nel tronco a monte fino ad Ostiglia, e che furono promosse soltanto dal Ticino e dall'Adda, ed in tenue misura dall'Alto Po, per dichiara-

(25) Il Dubuat fu il primo a studiare i fenomeni degli efflussi da una conserva o lago cui sia applicato un canale inclinato. Egli osservò che il moto iniziale in questo viene promosso da una rapida o battente al suo incile, dopo di che si accelera la corrente per la sua pendenza fino a che le resistenze vengano ad equilibrarsi con tale accelerazione per dar luogo al moto equabile. Egli si era proposto di stabilire le regole onde ridurre al minimo colla forma dell'emissario ad imbuto l'altezza di quel battente, regole che non si riconobbero attendibili dal d'Aubuisson, attesa l'insufficienza dei dati sperimentali del Dubuat. Ne consegue che qualora si volesse determinare in relazione alla variabile portata degli efflussi il profilo del pelo d'acqua dell'emissario del Verbano colla sistemazione del tronco del Ticino dal ponte della ferrovia alla proposta chiusa, la scienza si troverebbe in difetto per risolvere il problema *a priori*.

Colle 59 bocche di essa chiusa si dovrebbero scaricare le acque di una piena massima d'efflusso, la quale in quella del 1868 venne calcolata in m. c. 4811; e dietro posteriori studj sarebbe ascesa ad oltre m. c. 5400, attese le circostanze particolari e del tutto eccezionali che accompagnarono quella piena, portata che dopo la sistemazione dell'emissario dovrebbe naturalmente accrescersi. Nel breve cenno che si dà circa a quell'edifizio nulla si dice rispetto al modo di regolarne l'uso in una piena. Supposto che questa avvenisse dietro una serie di afflussi pei quali nel 1840 si alzò $4^{m},77$ e nel 1846 $4^{m},21$ sullo zero di Sesto Calende, non è detto se per moderare in tal caso la misura degli efflussi, e per non mettere in asciutto il canale di derivazione, sopprimendo gli invasamenti, non abbiano questi a procurarsi col maneggio delle paratoje. Ma in allora, giusta l'osservazione fatta alla pag. 19 della mia Memoria del 1867, sul voto della Commissione provinciale, ciò non potrebbe mandarsi ad effetto senza la protezione di un'imponente forza armata, giacchè i terrieri circumlacuali accorrerebbero per fare aprire tutte le bocche della chiusa, nel qual caso si avrebbe sempre un aumento di efflusso a danno del reggime del Ticino e del Po, de'quali si aggraverebbero le piene.

zione del capo ingegnere di Ferrara Bompiani, avrebbe soverchiate le arginature del Basso Po, ove non fossero avvenute le diversioni superiori per la rottura de' suoi argini dal Ticino al Mincio. Ma se quegli argini verranno sistemati in guisa di contenere altra piena simile od anche maggiore, siccome si ha luogo di non dubitare, poichè oggidì sono tutti dichiarati opere di 2.ª categoria, quindi da completarsi col concorso dello Stato, è naturale che si debba provvedere a che non si aggravi la loro condizione. E ciò appunto avverrebbe qualora col facilitato scarico delle piene del Lago Maggiore si accrescesse la portata di quella del Ticino, e la si facesse maggiormente approssimare al colmo di quella del Po, accresciuta pure perchè contenuta in tal caso dagli argini sistemati. Trattasi di piene d'un tributario che, come vedemmo, giungono a superare nell' afflusso di sei decimi quella massima del Basso Po, cosicchè lo scemare per esse l'azione moderatrice del lago è punto che merita la più matura ponderazione, attese le gravi conseguenze che ne deriverebbero, e che non sarebbero più attribuibili a forza maggiore, ma alla mano dell'uomo.

351. Fra i progetti di nuovi canali irrigui per l'Alta Italia vi è pure quello di derivare le acque sortilizie della Ledra, e del Rio Gelato, e di unirle ad altre estratte dal Tagliamento per irrigare la vasta pianura del Friuli fra questo fiume ed il Torre. Il piano sarebbesi concretato dall'ing. Locatelli, ed intorno ad esso scrissero il prof. Bucchia nel 1858 e l'ing. Bertozzi nel 1866 (26). L'ing. Luigi Tatti venne incaricato dalla Commissione promotrice per l'aprimento di quei canali, di esaminare tale progetto, e dopo una prima sua Relazione informativa del luglio 1868 (27), di redigere il progetto particolareggiato. Questo venne di poi compito e presentato mediante la sua Relazione del 30 maggio 1869 (28) corredato di tutte quelle illustrazioni che lo costituiscono un vero modello per siffatte operazioni, fra le quali di un piano *quotato* riassunto anche con tavola in minor scala. La portata di quelle derivazioni sarebbe di 12 m. c. per 1″ rispetto alla minore, ossia alle acque chiare della Ledra e del Rio Gelato, e di 20 m. c. per le acque sussidiarie

(26) La Memoria dell'ingegnere Bertozzi è stampata a Torino.
(27) Milano, presso la Tipografia degli Ingegneri.
(28) Tipografia precitata. Vedi anche il *Giornale dell'Ingegnere Architetto*, 1868, pag. 537.

del Tagliamento, costituenti in tutto la portata di 32 m. c., che si riducono a 29 m. c. utilizzabili. La spesa sarebbe in complesso di circa sei milioni; ma l'esecuzione delle opere potrebbesi intraprendere per una parte soltanto di esse proporzionata ai mezzi del consorzio, salvo ad estenderle di mano in mano che col miglioramento della condizione agricola s'accrescessero i mezzi onde farvi fronte.

352. Rispetto alle irrigazioni della Francia, ne dà ragguaglio nel 1.° volume dell'opera precitata del 1843 Nadault de Buffon, tanto per la regione subalpina quanto per quella de' Pirenei. Circa alla prima, una delle opere le più imponenti è quella del canale di Marsiglia derivato trent' anni sono dalla riva sinistra della Durance dal compianto ingegnere Montricher, della portata di 7,25 m. c. (29). E per la regione de' Pirenei sarebbero in corso i lavori per utilizzare le acque dell'Alta Garonna sulla estesa pianura di S. Martory, ed anche per altre vallate che partono dall'altipiano di Lannemezan, giovandosi eziandio delle acque dell'affluente Neste, e di qualche suo tributario, accumulandole in serbatoj, ossieno laghetti artificiali (30). Di quest'ultimo metodo si è fatto uso principalmente nella Spagna Meridionale per le irrigazioni, ed anche per utilizzare la forza motrice delle acque, giusta il ragguaglio che ne dà Aymard nella sua Memoria sulle irrigazioni di quella regione (31), di che parleremo più avanti all' Art. XXIV, ove si tratterà delle chiuse de' serbatoi e delle condizioni per la loro stabilità.

353. Dato per tal modo un cenno dei grandi canali irrigui costrutti, e di quelli pei quali sonosi pubblicati i progetti, gioverà

(29) Vedasi la nota (3) all'art. VI, ove parlo della venuta a Milano di quel distinto tecnico, e del dono fattomi del profilo e di alcuni suoi rapporti sul progetto di quel canale. Dal profilo stesso scorgesi quanto imponenti sieno parecchi edifizj a tal uopo costrutti, e fra questi il grande acquedotto di Roquefavour dell'enorme altezza di 81^{m}.

(30) Nella mia Memoria sulle inondazioni della Francia del 1858 ho dato un cenno (Nota finale G) del progetto dell'ingegnere Montet pei serbatoj della Neste, e pei canali successivi che volevansi rendere eziandio navigabili con opere colossali. Modificato il progetto, ne dette un cenno l'ingegnere Nadault de Buffon nel 1.° volume della sua opera d'idraulica agricola stampata in quell'anno. Per le opere effettivamente intraprese, in corso di esecuzione, limitate alle sole irrigazioni, vedansi gli annuali cenni che si danno della situazione dell'impero negli *Annales des Ponts et Chaussées* precit.

(31) *Irrigations du Midi de l'Espagne*, 1864.

far conoscere dietro quali principj abbia a regolarsi la loro applicazione, in guisa di promovere i maggiori miglioramenti agricoli. L' esperienza dimostra come ciò avvenga allorchè gli utenti delle acque ne abbiano l'assoluta proprietà, e quando vi sia ampia libertà nell' esercizio del diritto d' acquidotto coattivo. In tale condizione trovandosi la Lombardia, ivi appunto si eseguiscono continuamente da secoli opere dispendiosissime per la più utile circolazione ed economia delle acque, dal che dipende lo stato florido della sua cultura irrigua. Di questo argomento ho estesamente trattato in in una mia Consulta fatta il 12 novembre 1856 al Ministro dell'Interno in Vienna, ed attesa l' importanza dell' argomento l' ho fatta inserire nel *Politecnico* ossia *Giornale dell'ingegnere architetto* ecc. sotto il titolo: *Sistema irriguo della Lombardia, disposizioni legislative, e pratiche che lo risguardano, e loro effetti nel perfezionamento agricolo.* In essa si rettifica eziandio il prospetto statistico delle irrigazioni di questa regione (32).

Art. XXI. — **Canali di navigazione derivati da fiumi.**

354. Abbiamo veduto al § 315, come nella prima metà del secolo XII i monaci Cistercensi di Morimondo derivassero presso Tornavento dal Ticino il canale irriguo Ticinello, che nel 1177 i Milanesi, dopo averlo ampliato, rivolsero alla loro città sotto il nome di Naviglio di Gaggiano, onde legarlo mediante la navigazione col Verbano, ed estendere maggiormente l'irrigazione. Per entrambi quei fini nel secolo susseguente operarono un ulteriore ampliamento del canale e della sua derivazione. Da Castelletto di Abbiategrasso, ove avvenne la diversione fino a Gaggiano, il canale vedesi escavato di nuovo sopra un solo rettilineo, e di poi condotto a costeggiare alla sua destra l' antica strada di Abbiategrasso e Vigevano (1).

(32) Vedasi il fascicolo di giugno di quel periodico.

(1) Vedansi i Cenni idrografici nelle *Notizie naturali e civili;* la Memoria precitata *Sull' origine e progresso della scienza idraulica*, e la Nota del 1866 intitolata: *Il Naviglio Grande e Beno de' Gozzadini*, inserita nel *Giornale dell' Ingegnere Architetto.* Nella carta topografica del Lombardo Veneto vedesi sul Ticinello, attuale scaricatore del Naviglio Grande, un piccolo villaggio col nome pure di *Ticinello,* di fronte a Morimondo, ove avrebbero risieduto i custodi o campari di quel canale irriguo dei Cistercensi.

Nè miei scritti anteriori sonosi indicati i pregi del tracciamento di quel tronco di canale, senza notevoli escavazioni od arginamenti, secondo la linea più favorevole per le diramazioni di canali irrigui sulla sottoposta pianura, e con pendenze regolate in guisa di conservare la profondità necessaria alla navigazione, malgrado la progressiva diminuzione della sua portata, e tutto ciò senza il sussidio delle conche non ancora inventate; lo che è prova della somma abilità pratica di chi lo costrusse. L' esempio dei Milanesi venne seguito nel giro di pochi anni da altri municipj italiani, coll' escavazione di canali navigabili, ossieno Navigli, fra quali distinguesi il canale della Battaglia presso Padova fatto costruire nel 1191 da Guglielmo dell' Osa milanese podestà di quella città (2).

355. Avanti all' invenzione delle conche, ove quei canali avevano soverchia pendenza per la navigazione e deficienza di profondità in magra, si attraversavano con chiuse di ristringimento dette *Bove*, che servivano eziandio per una navigazione intermittente, mediante colte, dette anche *bottazzi*. Una di quelle chiuse vedevasi ancora sul Naviglio di Modena nel 1826. Le barche ascendenti passavano per esse col sussidio di argani. Tale era l' antica chiusa di Governolo sul Mincio costrutta nel 1188 dall' Architetto Pitentino, che erroneamente il Lecchi considerò siccome una conca, ed il Frisi, intendendo rettificare l'errore, qualificò siccome conca piana, ossia senza gradino, ritenendo tale anche la chiusa del Zepetto in Mantova che è un semplice argine con scaricatori, detto il *Ponte de' Molini;* prova che nè l' uno nè l' altro aveva letto il *Discorso di Gabriele Bertazzolo* che citano. Questi dimostra ivi in che consistessero, e come egli nel 1609 sostituisse a quella di Governolo una vera conca, la quale però è piana, cioè senza gradino, colla pendenza di $0^m,49$ sul fondo fra le due soglie delle porte.

356. Nella precitata mia Memoria sull' origine della scienza idraulica dal § 17 al 32 dimostro quali fossero i tentativi che condussero all' invenzione delle conche; come questi si praticassero dapprima nel Fossato di Milano pel trasporto delle pietre destinate alla fabbrica del Duomo; come gli esperimenti si facessero nel 1438 in piccola scala, a quanto pare, da Filippo da Modena, ossia degl'Organi, e da Fioravante da Bologna, che nel 1439 costrussero la conca

(2) Cenni idrografici nelle *Notizie naturali e civili* precitate.

di Viarenna sul Fossato stesso; e come si applicassero nel 1443 le conche al Naviglio di Bereguardo allora costrutto, condotto parallelo al Ticinello, partendo da Abbiategrasso. Conchiudo quindi che Milano aveva costrutto 90 chilometri di canali navigabili con ben 25 conche dal 1439 al 1475, sei anni avanti che i fratelli di Viterbo costruissero la conca sull' unione del Piovego col Brenta sotto Padova, conca stata in addietro considerata erroneamente siccome la prima. Dal 1491 al 1493 sonosi costrutte le prime due conche sul Naviglio di Bologna da un ingegnere milanese, ed altrettanto sarebbesi allora fatto sul Naviglio di Modena colla costruzione del sostegno della Bastiglia.

357. In quella stessa Memoria dimostro come Leonardo da Vinci abbia perfezionate le conche coll' invenzione delle doppie porte angolari (*busquées*), delle quali scorgonsi gli studi ne' suoi disegni contenuti nel *Codice Atlantico* dell' Ambrosiana, e come egli sul cadere del secolo XV avesse unito il Naviglio della Martesana al Naviglio Grande mediante la Fossa interna di Milano. Si accenna pure come quell' uomo di genio morisse in Francia nel 1519, ove avrebbe costrutta una conca sul fiume Ourcq, prima in quel paese (3). Osservo inoltre come quel perfezionamento abbia influito ad estendere l' applicazione delle conche, anche in misure colossali, particolarmente ne' porti marittimi, ove le loro aperture superano talvolta la larghezza di 20 metri.

358. Il Naviglio della Martesana preaccennato era stato aperto nel 1457 da Francesco Sforza ad uso della irrigazione di una parte del Milanese e della navigazione; canale cui in origine si erano applicate due conche fuor di Milano. In quel secolo si abbozzò pure un canale per unire Milano a Pavia (4), progetto che si è ripigliato sul termine del secolo XVI, ma di cui venne solo iniziata la costruzione, partendo da Milano. Verso quel tempo si erano anche incominciati i lavori per la costruzione del Naviglio di Paderno, onde superare una notevole rapida dell' Adda, e così legare colla navigazione in discesa il lago di Como a Milano. Quest' ultimo progetto intrapreso dal Meda comprendeva la costruzione di una

(3) Dutens, *Histoire de la navigation intérieure de la France.* Paris 1829, T. I, pag. 81.

(4) Vedasi la nota (3) al § 31 della Memoria precitata *Dell' origine* ecc.

conca gigantesca del salto di 18^m; ma per sopravvenute difficoltà ne venne sospeso il proseguimento, che solo ebbe luogo intorno al 1777 con modificazioni del piano anteriore.

359. Rispetto a quest'opera si è consultato il matematico Frisi, che ebbe pure a fare le sue proposte circa al compimento del Naviglio da Milano al Ticino presso a Pavia, e che scrisse un breve Trattato sui canali navigabili (5); lo che fece eziandio il matematico Padre Lecchi, il quale trovavasi in uno stato di antagonismo coll' altro (6). Nel primo di quei trattati il Frisi da prove di erudizione; nell'altro il Lecchi manifesta tatto pratico nelle particolari questioni concernenti i canali del Milanese.

360. Nel 1821 uscì l'opera dell' ingegnere Bruschetti: *Storia dei progetti e delle opere per la navigazione interna del Milanese,* lavoro pregevole anche per la copia di documenti ivi riportati (7). In essa l'autore si estende particolarmente sul Naviglio, ossia canale di Pavia, la cui costruzione venne decretata nel 1805 da Napoleone, e tosto dopo iniziata sotto la direzione del matematico Brunacci e dei due ingegneri milanesi Giussani e Giudici. Questi avevano determinato di alimentare il canale con 150 once magistrali milanesi (6 m. c. per 1″) di acque derivate dal Naviglio Grande, cui si sarebbero aggiunte; di assegnare al suo fondo la larghezza di $10^m,70$ ed una pendenza di circa $0^m,50$ per 1000, distribuendo la cadente residua sul salto de' sostegni compreso fra $4^m,50$ a 6^m. Essi con ciò si ripromettevano di avere nel canale una profondità effettiva di circa due braccia ($1^m,20$), ed utile di un braccio, che reputavano sufficiente per l' immersione delle barche.

361. Il progetto venne sottoposto all' esame dell' illustre Prony, il quale lo collaudò rispetto al tracciato, giudicando per altro eccessiva la pendenza assegnata al fondo, che avrebbe richiesta una portata d'acqua assai maggiore, la quale sarebbe tornata pregiudicevole alla navigazione ascendente. Riconobbe eccessivo il salto dei sostegni, e difettosa la distribuzione di questi con distanze troppo

(5) Esso è unito alle sue *Istituzioni di meccanica, idrostatica* ecc. stampate in Milano nel 1777, e vedesi riprodotto nel T. VI della Raccolta di Bologna.

(6) *Nuova Raccolta di Bologna*, T. IV, 1824. Si è stampato nello stesso anno in Milano presso Silvestri sotto il titolo: *Trattato dei canali navigabili.*

(7) Nel 1830 ne venne pubblicata una seconda edizione con aggiunte e rettificazioni. Milano, presso Bernardoni.

ineguali. Egli partiva in ciò dalle regole seguite in Francia per canali che servono alla sola navigazione, come vedremo più avanti, e quindi con acque pressochè stagnanti; ma rispetto alla pendenza del fondo le sue eccezioni erano fondate, siccome dedotte dalle regole dell'idrodinamica nella quale era maestro (8).

362. I proponenti non si mostrarono persuasi di tali eccezioni, ed intesero dedurre la pendenza occorrevole dall'esperienza sul tronco di Naviglio della Martesana dalla Cascina de' Pomi a Milano, ma all'atto pratico essi dovettero regolarla sopra misure assai minori (9). Intrapresi i lavori nel 1806, ne fu interrotta l'esecuzione in causa dei rivolgimenti politici del 1814; e ripigliati quindi, si portarono a termine nel 1819. Le opere d'arte vennero condotte con tutta la perfezione desiderabile, ma l'esperienza ha provato essere stato erroneo il principio col quale si è concepito il progetto pei motivi che ora indicheremo.

363. Se si consideri che la copia delle importazioni dall'Adriatico e dai territori limitrofi al Basso Po verso Milano sta a quella delle esportazioni all'incirca come dieci ad uno, ne consegue che il canale doveva costruirsi in guisa di potere essere praticabile dai navigli del Po senza trasbordamento di merci a Pavia in apposite imbarcazioni. Esso invece venne modellato siccome continuazione dei preesistenti canali del Milanese, i quali nella loro comunicazione coi laghi non servono se non per la navigazione discendente con piccola immersione delle barche. Questo difetto si è manifestato allorchè si è resa libera la navigazione del Po, non essendo stato possibile di fare risalire le gabarre rimorchiate fino a Pavia coi piroscafi, con una immersione maggiore di $0^{m},85$, malgrado le opere eseguite per rialzare il livello delle acque del canale, mentre potevano navigare sul Po con una immersione pressochè doppia. La limitata

(8) Nell'archivio della cessata Direzione generale delle acque e strade di Milano vedesi quel voto, del quale ho fatta trarre copia. Da alcune espressioni del Bruschetti che ne parla, scorgo che egli non l'aveva letto.

(9) Non potevasi scegliere un modello più imperfetto, trattandosi di un tronco di canale che va soggetto ad interramenti del Seveso. Esso vi si scarica, e nelle sue piene non ha altro sfogo fuorchè lo sfioratore costituito dalla sponda opposta del canale, cosicchè in questo sono convogliate le materie trascinate dal torrente. A rimediare a tale disordine era inteso il progetto dell'ispettore dei canali navigabili Fumagalli, consistente nel fare attraversare il canale dal Seveso mediante tomba sotterranea, aggiungendo però una conca a valle presso l'Elvetica.

profondità ed ampiezza della sezione erano poi di non lieve ostacolo al risalire delle gabarre, particolarmente negli scambi, e nel tronco più prossimo a Milano, ove maggiore è la portata del canale e la violenza della corrente, che dà luogo ad un notevole ringorgo in tali incontri (10).

364. Dalle cose precedentemente esposte chiaro appare che la Lombardia è il paese ove si escavarono i primi canali di navigazione, e si perfezionarono colla maravigliosa invenzione delle conche. Ma appare eziandio come i suoi tecnici nella costruzione dell'ultimo canale sieno andati errati nell'assumere per modello gli antichi, mentre il nuovo doveva regolarsi con principj del tutto diversi, in relazione alle particolari esigenze commerciali. In quanto ai canali di navigazione del Veneto non consta che siensi pubblicate opere speciali che ne porgano la descrizione, eccettuatane la Statistica ufficiale delle acque del Lombardo-Veneto, stampata in Milano dal 1832 al 1833 con successive Appendici, la quale non trovasi in commercio.

Art. XXII. — **Canali navigabili a punto di partizione — Invenzione e progressi della navigazione a vapore.**

365. Nella mia Memoria del 1860 sull'origine della scienza idraulica, dopo avere dimostrato che il maraviglioso artificio delle conche fu inventato a Milano, ed ivi applicato intorno al 1440, aggiungo: « A quest'epoca, e non nel 1420, come opinò il Giulini, « dovrebbesi riferire il progetto di Filippo Maria Visconti, accennato « nella sua vita dal Decembrio, di costruire col mezzo delle conche « un Naviglio da Abbiategrasso a Vigevano, attraversante a doppio « pendio la bassa valle del Ticino; concetto che dichiarai altrove « nuovo e veramente grandioso, quantunque il Fumagalli, per « non averlo compreso, lo qualificasse siccome una stranezza ».

(10 Allorchè nel 1849, a termini del disposto dell'Atto Generale del Congresso di Vienna del 1815, venne effettivamente resa libera la navigazione del Po dalle indebite gravezze dei Governi di Modena e di Parma, la ditta Perelli e Paradisi di Milano, che fino dal 1847 vi aveva attivati dei rimorchiatori a vapore, la esercitava con molto vantaggio. In una nota alla mia Memoria del 1863 sui progetti intesi ad estendere l'irrigazione nella valle del Po, indico le cause per le quali altrettanto utile non riuscisse alla società del Lloyd di Trieste che le succedette in tale impresa.

Quest' errore potevasi però condonare ad un erudito, ma non già ad un distinto matematico ed idraulico, al Frisi, il quale criticando le espressioni dello storico siccome improprie, aggiunge: « Così per quel canale non avrebbero potuto servire tutte le acque « del Tesino, e si sarebbero dovute ricercare quelle della Sesia, « o degli altri condotti che restano sul piano superiore di Vige- « vano (1) ». Vedemmo già come il Frisi scambiasse le due antiche chiuse di Mantova sul Mincio con conche piane (§ 355); ma qui la cosa è più strana ancora. È notorio che la città di Vigevano è attraversata dal Naviglio Sforzesca derivato dal Ticino, e come più all' insù lo sia la prossima pianura dal Naviglio Langosco derivato egualmente a monte dal Ticino presso Turbigo. Per tal modo se non colla più depressa di quelle derivazioni, colla più alta almeno, e con otto o dieci once d' acqua di essa avrebbesi potuto alimentare il ramo di quel canale a destra del Ticino, senza esaurire questo, nè prendere in prestito *le acque della Sesia e degli altri condotti.* Mentre il Frisi manifesta una estesa erudizione intorno ai canali della Francia, dell' Inghilterra, dell' Olanda, della Svezia e della Russia, dà evidentemente prova che conosceva assai poco l' idrografia dell' antico Milanese; e ciò fa tanto più senso in quanto che il suo Trattato era destinato alla scuola degli ingegneri in Milano (2).

366. Sta in fatto che quel concetto dell' ultimo dei Visconti, ha moltissima analogia con quello che nel secolo XVII si applicò in Francia, di canali, egualmente a doppio pendio, ma col punto di partizione culminante, per riunire con essi due fiumi separati da monti, e talvolta aventi foce in mari diversi; artificio che pel suo pregio eguaglia forse quello delle conche da noi inventate e perfezionate, e che influì ad estendere immensamente l' applicazione di queste. Conseguenza di ciò sono pure i canali a doppio pendio, ma confluenti, i quali collimerebbero appunto col tipo Visconteo, lo che avviene quando si congiungono due rami discendenti, o quando essi confluiscono in un fiume, come vedremo in appresso.

367. Al § 185 si è data un' idea della disposizione orografica del suolo della Francia, da cui appare, che fatta eccezione di

(1) *Istituzioni* precitate, pag. 427.
(2) Ivi. Cap. VI, pag. 389-427.

pochi fiumi principali, presso il suo confine territoriale, esso sarebbe in varie direzioni solcato da altri discendenti da monti di limitata elevazione, quindi di carattere jemale e per taluni torrentizio, soggetti quindi nell' estate a magre pronunciatissime. Con tutto ciò essi vennero riuniti fra loro con quei canali e sistemati per la più parte da ultimo ne' modi accennati ne' paragrafi successivi. Costituiscono così una rete di linee navigabili fornite generalmente delle più vantaggiose condizioni per la facilità dei trasporti, alla costruzione delle quali lo Stato ha impiegato capitali enormi, con immenso progresso del commercio interno; vantaggi che andranno ad accrescersi in notevole misura, quando si riempiano le lacune che tuttavia rimangono al compimento di quella rete, come vedremo più avanti. In vista di tali risultamenti gioverà dare un cenno dei principj tecnici che regolano quel sistema di lavori, della storia de' primi tentativi per riuscirvi, e dei perfezionamenti che vi furono da ultimo introdotti.

368. Per riunire due fiumi scorrenti in bacini diversi separati da una catena di monti, o di colli, importa innanzi tutto trovare lunghesso la cresta, o *partiacque* di questa, un tratto di massima depressione, la quale talvolta si accresce con profonda trincea, od anche mediante un sotterraneo. Abbassato per tal modo il punto culminante, ossia di *partizione* del canale, scema il numero delle conche o sostegni coi quali deve discendere nei due rami; si agevola la condotta dei rigagnoli derivati anche a notevoli distanze dalle parti più elevate della catena stessa, che raccolgonsi in artificiali serbatoj alimentatori, gli emissarj regolati dei quali mettono capo al tratto più elevato del canale (*bief de partage*). Da ciò appare quanto per quei progetti importi premettere accurati studj idografici, ipsometrici ed udometrici, onde calcolare in prevenzione la quantità dell' acqua occorrente per alimentare il canale, al suo punto culminante, ed eziandio ne' tronchi discendenti con acque di confluenti. Quell' alimento deve sopperire al consumo delle concate, all' evaporazione, ed all' effiltrazione, cosicchè tali studj devono estendersi eziandio al grado di permeabilità del terreno da percorrersi, ed ai mezzi di moderarla. Ne consegue che in quei canali l' acqua è pressochè stagnante; lo che dà loro un aspetto assai più triste che non sia quello dei nostri canali destinati generalmente al doppio uso della navigazione e della irrigazione. Ma

si ha in quelli il vantaggio rilevantissimo di rimorchiare le barche con una forza minima, tanto in ascesa, quanto in discesa, malgrado la considerevole portata di queste, attesochè la loro immersione eccede di solito la misura di un metro e mezzo.

369. La prima opera di siffatto genere si fu il canale di Briare sulla Loira, per congiungere la navigazione di questa coll'Alta Senna. A tal fine il canale, partendo da Briare, mette capo a Montargis sul Loing, influente della Senna. La totale sua lunghezza è di 55 chilom.; il suo primo tronco di 14 chilom. fino al tratto di *partizione* ha, partendo dalla Loira, un'acclività di $38^m,25$, esaurita da dodici conche; ed oltrepassati i tre chilometri del detto tratto orizzontale, il tronco successivo fino a Montargis discende per 78^m mediante 28 conche. I rigagnoli alimentatori confluiscono in otto serbatoj della complessiva superficie di 480 ettari, della media capacità di 22 milioni di m. c. L'opera si era incominciata sotto il regno di Enrico IV nel 1605; ma avvenuta la morte di quel re, rimasero nel 1610 sospesi i lavori, che non vennero ripigliati se non nel 1638, e portati a compimento nel 1642 sotto Luigi XIII (3).

370. Dopo questo primo saggio, aspirando la Francia ad intraprendere un' opera monumentale ad illustrazione del regno di Luigi XIV, si fecero studj per eseguire il canale detto del Mezzodì, che riunisse il Mediterraneo all' Oceano, seguendo il piede dei Pirenei. Insorsero controversie circa all' autore di quel grandioso piano, ma dopo la storia che ne porge l' illustre generale Andreossy (4) sembra fuori di dubbio che lo si debba al suo bisavolo, l' ingegnere Francesco Andreossi, nato a Parigi nel 1633 da padre lucchese. Dopo avere egli fatto nel 1660 un giro in Italia per studiare le opere idrauliche di questo paese, ed eziandio pej proprj affari domestici, sarebbesi associato all' imprenditore Paolo Riquet, per conto del quale avrebbe nel 1664 steso un piano di massima, che presentò eziandio al re; e di poi altro particolareggiato, assumendo quindi la dirigenza dei lavori. Questi furono incominciati nel 1667 e condotti a termine nel 1686. Verso questo tempo sa-

(3) Dutens, Storia precitata, T. I, pag. 85.

(4) Andreossy, *Histoire du Canal du Midi.* Paris 1804. Il generale Andreossy, che accompagnò Bonaparte nella spedizione d'Egitto, e che fu di poi ispettore generale di artiglieria, ministro della guerra ed anche ambasciatore a Costantinopoli, fu uno de' più valorosi e colti militari di quell' epoca.

rebbesi praticata la visita del canale da Vauban, il celebre riformatore dell' arte delle fortificazioni, il quale avrebbe consigliato parecchi miglioramenti, fra cui quello di acquedotti ove il canale doveva attraversare fiumi (5).

371. Riportandoci ai particolari che si porgono in quella Storia del generale Andreossy di un' opera cotanto grandiosa, noteremo soltanto che il tratto di partizione del canale trovasi elevato 189^m sul livello del Mediterraneo, cadente esaurita con 45 corpi di sostegni comprendenti 74 conche, in parte accollate, munite di 121 mani di porte sul tronco di canale lungo 184 chilometri, che da colà, nell' avvallamento dell' Aude mette capo alla laguna di Thau. Il tratto di partizione è di 5 chilometri, e di là l' altro ramo lungo 52 chilometri, discende per 64^m mediante 25 conche fino alla Garonna presso Tolosa.

372. Il canale di Briare aveva il difetto di rivolgersi a ritroso in un tronco dell' Alta Loira di difficile navigazione, e richiedeva un lungo giro per comunicare coi tronchi inferiori, sui quali sorgono popolose città. Mentre perciò compivasi il grande canale del Mezzodì, ossia dei due mari, dal 1682 al 1692 venne costrutto il canale d' Orleans, che partendo egualmente dal Loing presso Montargis, mette capo a Combreux sulla Loira a soli 4800^m sopra Orleans, ed a 72 chilometri a valle del canale di Briare. E per rendere più commoda la navigazione fino alla Senna, si escavò apposito canale laterale al Loing da Montargis fino al confluente di questo presso S. Mamert; lo che si fece dal 1720 al 1724 (6). La confluenza dei mentovati due canali di Briare e d' Orleans nel Loing avveniva così appunto giusta il tipo Visconteo, come notammo al § 365, circostanza che non fu avvertita dal Frisi, quantunque parli di quei canali. Nello stesso secolo non si è costrutto se non il così detto canale del Centro fra Digoin sulla Loira, e Chalons sulla Saona. Il suo piano venne steso dall' ispettore Gauthey; i lavori

(5) Vauban era coetaneo di Francesco Andreossi, essendo pure nato nel 1633. Ma fu sicuramente di un abilità più distinta nell'arte delle costruzioni, ed è perciò naturale che suggerisse all' altro utili miglioramenti al canale del Mezzodì. Gli studj dell' Andreossi è verisimile che siensi fatti, piuttosto che sui canali italiani, su quello di Briare, il quale per essere stato il primo a punto di partizione, avrà ne' suoi difetti servito di utile ammaestramento.

(6) Dutens, Storia precitata, pag. 91 e 92.

da lui diretti si iniziarono nel 1783 e furono condotti a termine nel 1792; ma non perfettamente, rimanendo in uno stato di abbandono negli otto anni successivi durante la Rivoluzione francese. Solo dopo il 1800 in una serie d'anni si compirono i lavori di perfezionamento. Il punto di partizione trovasi allo stagno di Longpendu. Il ramo verso la Loira lungo 63 chilom. ha la cadente di $77^m,64$. Il tratto di partizione è di 4 chilom., ed il tronco verso la Saona è lungo 48 chilom., con una cadente di 131^m.

373. Sotto l'impero di Napoleone I, attesi gli impegni nei quali si sono trovate le finanze dello Stato a cagione delle continue guerre, non si eseguì se non il canale di S. Quintin fra l'Oise e la Schelda iniziato nel secolo precedente, e che fu oggetto di discussioni tecniche per oltre sessant'anni. Al § 186 abbiamo esposte le cause per le quali anche dopo la restaurazione del ramo primogenito della dinastia borbonica andassero a rilento i miglioramenti della navigazione interna della Francia. Essi presero uno slancio dal 1830 al 1845 dopo la rivoluzione di luglio, ma attratta di poi l'opinione pubblica in favore delle ferrovie, in allora intraprese in grande scala, si dimenticarono i canali al punto che nel 1844 si sospese l'esecuzione del grande canale dalla Marna al Reno, che veniva a riunire la navigazione di questo fiume con Parigi. Dietro per altro le rimostranze dell'ingegnere Collignon si ripigliarono i lavori, cosicchè mediante la canalizzazione della Marna che si sta compiendo, offrirà quella linea una delle più importanti comunicazioni della Francia. Dal 1850 al 1860 ebbero, come si disse, la preferenza le ferrovie, la cui rete oggidì raggiunge all'incirca 21000 chilometri e può dirsi compiuta rispetto alle linee principali. Ma dopo il 1860 si riconobbe l'importanza di compire anche la rete di navigazione interna coll'erogazione di somme considerevoli, siccome abbiamo notato nel paragrafo precitato.

374. In quanto ai trattati tecnici concernenti i canali di navigazione, nel 1737 uscì la classica architettura idraulica di Belidor, ove particolarmente parla della costruzione delle conche e loro accessorj (7). Istruttiva è pure la storia precitata del generale An-

(7) Ne venne intrapresa una seconda edizione da Navier, con copiose note ed aggiunte, della quale non uscì se non il 1.° volume, che nel 1841 venne tradotto in italiano insieme al rimanente dell'opera. Mantova, presso Negretti.

dreossy del canale del Mezzodì del 1804, ricca di tavole illustrative. Nel 1816 Navier ebbe a pubblicare il III volume delle opere di Gauthey, corredato da lui di preziose note e di Appendice, ove si danno precetti per la costruzione dei canali a punto di partizione, e ragguagli particolari su quella del canale del Centro preaccennato (8). Intorno al 1827 si iniziarono studj per un piano generale di navigazione interna della Francia, ed uscì l'opera di Dutens, *Histoire de la navigation intérieure de la France*, ove nel primo volume, dato un cenno idrografico del territorio della Francia, si porge un sunto storico dei canali eseguiti, e di quelli in corso di costruzione. Nel secondo volume poi offresi un prospetto delle opere da eseguirsi per compiere la rete della navigazione interna della Francia (9).

375. Anteriormente a questa pubblicazione era uscita l'opera postuma dell'ingegnere Brisson: *Essai sur le sistème général de navigation de la France*, che l'autore nel 1827, avanti alla sua morte, aveva presentato all'Accademia delle scienze, la quale lo approvò dietro rapporto di Prony, Lacroix e Carlo Dupin (10). Essa era il risultamento sintetico di un principio idrologico razionale scoperto fino dal 1802 dall'autore e dal defunto suo amico Dupuis de Torcy, prediletti allievi del celebre Monge, inventore della geometria descrittiva, ricavato appunto da una felice applicazione di questa. Vedasi al termine dell'opera la Memoria: *Essais sur l'art de projeter les canaux de navigation par MM. Dupuis de Torcy et B. Brisson;* Memoria approvata nel 1802 dall'Istituto delle Scienze di Francia.

376. Gli autori, considerando che sulle grandi carte topografiche sono bensì segnati i thalweg, ossieno canali de' fiumi fino alle loro sorgenti, ma non le creste dei monti che costituiscono il partiacque dei due versanti opposti, dedussero dalla posizione delle sorgenti de' fiumi questa linea importantissima, che va soggetta a notevoli ondeggiamenti. E trovarono che i punti di maggior de-

(8) Gauthey, *Oeuvres*, T. III. — *Mémoires sur les canaux de navigation, et particulièrement sur le canal du Centre*, Paris 1816. — Navier era nipote del Gauthey, morto fino dal 1807.

(9) L'opera venne pubblicata nel 1829 dietro incarico datone dal Direttore generale Bequey.

(10) Paris 1829.

pressione di essa vengono indicati da queste due combinazioni: 1.° Quando nei due versanti della stessa catena i thalweg discendono paralleli, e quindi con inflessione risentita si rivolgono a direzioni opposte; 2.° quando i thalweg stessi, provenienti da direzioni opposte, si approssimano ai piedi della catena, divenendo quindi paralleli, ma in senso contrario. Del primo tipo si ha l'esempio nel tracciamento del canale del Mezzodì, ove la Garonna e l'Aude discendono parallele dai Pirenei; quindi si rivolgono in direzioni opposte, località nella quale appunto si è stabilito il tratto di partizione; e del secondo a Longpendu, punto di partizione, come vedemmo, del canale del Centro fra la Loira e la Saona, che provengono da direzioni opposte (11).

377. Un breve Trattato pregevolissimo si fu quello di Sganzin: *Programme, ou Résumés des leçons d'un cours de constructions,* del quale nel 1821 pubblicavasi in piccolo volume la 3.ª edizione, che servì di nucleo a due successive ampliate da Reibell, in tre volumi con copioso atlante. Tale è pure quello di Minard: *Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux,* uscito nel 1841, del quale presso Dunod si è pubblicata una seconda edizione sotto il titolo: *Cours de construction professé à l'école des Ponts et Chaussées*, in due parti, di cui la prima risguarda la navigazione interna, e la seconda i lavori idraulici dei porti marittimi.

378. L'ingegnere Brisson, poco innanzi alla sua morte, aveva steso il progetto del grande canale dalla Marna al Reno, che servì eziandio di traccia per la ferrovia dell'Est da Parigi a Strasburgo. In quel progetto è compresa la depressione della Mosella fra i punti di partizione di Bovée ad un estremo e dei Vogesi per l'altro, di cui fa cenno alla pag. 13 della sua opera precitata, il quale tratto veniva appunto tracciato giusta il *tipo Visconteo*, di cui parlammo dal § 365 al 367. Il distinto ingegnere Graeff, essendo stato destinato a dirigere quelle due opere, particolarmente pel versante orientale dei Vogesi fino al Reno, pubblicò nel 1861 l'opera pregevolissima: *Construction des canaux et des chemins de fer.* Essa è divisa in due parti, la prima delle quali risguarda

(11) Vedasi per la prima località la Storia dell'Andreossy, e per la seconda la Memoria di Gauthey, precitate.

questioni tecniche, e la seconda quelle economiche concernenti il costo de' lavori (12).

379. Intorno allo stato odierno della navigazione interna della Francia ha pubblicato un articolo interessante l' ing. Bazin nel 1867 (13). Egli dà ivi un sunto storico del progresso dei lavori relativi nei varii periodi, con calcoli di confronto delle spese di trasporto sulle linee navigabili e sulle ferrovie. Indica quali sieno le lacune che tuttavia rimangono a riempirsi, fra le quali accenna il canale laterale alla sinistra della Loira, che oggidì si limita ad unire gli sbocchi dei canali del Centro e di Briare, ma che dovrebbesi prolungare fino ad Angers con un dispendio di circa 70 milioni. Dopo che si è con tanto profitto associata la costruzione dei canali della Francia alla sistemazione, ossia canalizzazione de' suoi fiumi, nota il Bazin come importi studiare il modo di maggiormente utilizzarli anche col sussidio del vapore, mediante il rimorchio con catena fissa sul fondo del fiume o canale. Intorno a questo metodo vedansi due Memorie degli ingegneri Lermoyer, e di Chanoine e Lagrené, nell' ultima delle quali si tesse la storia dei varj metodi adoperati e degli effetti ottenuti (14). Rispetto a questi, nel fascicolo di marzo e aprile 1870 del *Politecnico*, ossia del *Giornale dell' Ingegnere Architetto*, si porge un cenno di un nuovo sistema di rimorchio funicolare, introdotto ne' fiumi e canali del Belgio, col quale alle catene si sostituirebbero funi, in parte metalliche, indicandosi i meccanismi relativi.

380. Lo stesso ingegnere Lagrené ha pubblicato il I volume di un corso di navigazione interna fluviale, del quale al § 192 abbiamo offerto un cenno rispetto alla sistemazione dell'ultimo tronco de' fiumi fino alla loro foce in mare, pel caso che trattisi, tanto dell' Oceano con grandi maree, quanto di mari interni. Nella seconda parte promette di parlare della sistemazione de' fiumi per migliorare la loro navigabilità. Pascal definiva i fiumi siccome *strade che camminano*. Il celebre ingegnere Brindley, che fece costruire in Inghilterra il canale del Duca di Bridgewater, di cui parleremo più avanti, diceva invece che la provvidenza aveva creati i fiumi

(12) Paris, Lacroix.
(13) *Annales des Ponts et Chaussées*, settembre-ottobre 1867.
(14) Ivi, 1863, sem. II.

per derivarne i canali, ne' quali più agevole riesce la navigazione. Ma dopo il perfezionamento di questa ne' fiumi col sussidio del vapore, e cogli artifizj per la loro canalizzazione, non starebbe più nè l'una nè l'altra di tali proposizioni.

381. Il territorio dell'Inghilterra prestavasi come quello della Francia a grandiose opere di canalizzazione. Ciò non pertanto il primo canale, laterale alla Sankey, e quello del Duca di Bridgewater, non furono eseguiti se non dal 1755 al 1760. Dato il primo impulso, allorchè le circostanze lo consigliarono, si moltiplicarono i canali in guisa che dal 1790 al 1815, durante la guerra colla Francia, si sono per essi spesi 700 milioni di franchi; mentre in quel periodo la Francia non aveva costrutto se non i due canali del Centro e di S. Quintin preaccennati. La superficie territoriale dell'Inghilterra per tal modo canalizzata non giunge d'altronde ad un settimo di quella della Francia. Pei particolari di quei canali veggansi, l'opera di Carlo Dupin, e meglio ancora le vite degli illustri ingegneri dell'Inghilterra, la più parte de' quali, come sarebbero Brindley, Rennie, Telford e Tredgold, erano da principio semplici operai; come pure il magnifico volume di Weale: *Le opere pubbliche della Gran Bretagna* (15).

382. Tutti quei canali erano opere eseguite da privati. Quella più imponente del canale Caledonio costrutto dal 1815 al 1822, fu eseguita a carico dello Stato attraverso alla Scozia settentrionale fra il golfo di Murray sul mare del Nord, e la baja d'Eil sull'Atlantico. Essa consiste in varj tronchi di canali praticabili da fregate coll'immersione di 6^m, interposti a laghi, o ad essi successivi, terminando in quei golfi con gradinate di conche colossali. Vedasi per quest'opera grandiosa il ragguaglio che ne dà Stefano Flachat (16), il quale ebbe agio di studiarla sul luogo, e di venirne informato da Telford che diresse i lavori, e gli fornì interessanti

(15) Charles Dupin, *Voyages dans la Grande Bretagne. Troisième partie. Force commerciale.* Paris 1826. *Livre IV, Chap. I.*

Smile, *Lives of engineers.* Parecchi volumi di queste vite trovansi nella biblioteca del R. Istituto Lombardo delle Scienze. In esse si porgono interessanti particolari sulle opere eseguite nella Gran Bretagna.

Weale, *Publics Works of Great Britain,* London 1838. Volume in foglio grande con 183 tavole.

(16) *Histoire des travaux et de l'aménagement des eaux du canal Calédonien*, Paris 1828.

documenti. Meritano particolare esame i metodi coi quali si giunse a rendere impermeabili le arginature altissime che in alcune tratte lo sostengono, costrutte con ghiaje incoerenti, la cui permeabilità era tale da lasciar passare le foglie negli interstizj del terrapieno.

383. Gli Stati Uniti dell'America del Nord tardarono alquanto ad introdurre siffatti miglioramenti, non avendo costrutto se non nel 1808 il loro primo canale, detto di Middlesex, dal porto di Boston al fiume Merrimack sopra Lowell. Interposta la catena degli Allegani al loro territorio dell'Est sull'Oceano, ove sboccano fiumi navigabili per lungo tratto, ma disgiunti fra loro, ed a quello dell'Ovest solcato da fiumi giganteschi, le comunicazioni riuscivano difficili e generalmente pressochè impossibili. Imperciocchè, rispetto agli ultimi la navigazione praticavasi bensì facilmente in discesa, ma in ascesa non poteva effettuarsi se non a forza di remi, e coll'incerto sussidio delle vele, al che erano destinate sole dieci barche della portata di 100 tonnellate, che per ogni viaggio impiegavano da 100 a 200 giorni (17).

384. Al genio di un loro connazionale, al celebre Roberto Fulton dovettero la loro rigenerazione, colla mirabile scoperta ed applicazione della navigazione a vapore (18). Reduce questi dall'Europa ove alle sue proposte erasi accordata poca importanza, nel 1807 fece di essa i primi esperimenti con un piroscafo sull'Hudson presso Newyork, che ebbero un effetto assai moderato, ma però favorevole. Quattro anni dopo la applicò all'Ohio ed al Mississippi, ove il primo battello a vapore discese da Pittsburg a Nuova Orleans. Ma tali furono le difficoltà incontrate che nel 1817, quindi due

(17) Michel Chevalier, *Lettres sur l'Amérique du Nord,* 1838. Lettere XXI e XXII.

(18) Roberto Fulton, nato nel 1767 nella contea di Lancaster in Pensilvania, si portò nella sua gioventù a Londra, ove si dedicò alla pittura, e di poi alla meccanica, incoraggiato in ciò da' suoi connazionali West e Rumsey. Passò quindi in Francia, ove propose una nave sottomarina, ossia *torpedo,* o *Nautilo,* per la distruzione di navigli nemici, e pubblicò un Trattato sui canali di piccola navigazione con piani inclinati. Accolte ivi con poco favore le sue proposte, fu ridotto a speculare coll'introdurre a Parigi i panorama. Restituitosi nel 1806 a Newyork, ivi intraprese gli esperimenti per la navigazione a vapore, che quantunque non prosperasse se non dopo la sua morte avvenuta nel 1815, pure gli aveva già procacciata una immensa celebrità. Gli ultimi suoi giorni vennero però amareggiati da una lite che gli si intentò per la priorità di tale invenzione, la quale terminò col riconoscimento de' suoi diritti. Il suo amico Cadwaller Colden ne ha pubblicata la biografia con interessanti particolari sopra i suoi studj e tentativi per la navigazione a vapore.

anni dopo la morte di lui, un piroscafo per fare la corsa in ascesa da Nuova Orleans a Louisville sull'Ohio, posta 150 leghe a valle di Pittsburg, dovette impiegare 25 giorni; evento che malgrado tale lentezza fu considerato favorevole e festeggiato. I perfezionamenti progredirono di poi al punto che nel 1827 il piroscafo Tecumseh percorse in ascesa la stessa tratta in soli otto giorni, talchè nel 1834 lo Stato della Luigiana (Nuova Orleans) aveva già attivato 115 piroscafi, e quello dell'Ohio 62, in tutto 177. Nel 1865 si avevano sul Mississippi e suoi affluenti 795 piroscafi della portata di 235,000 tonnellate (19).

385. I fiumi oceanici dell' Est si riunirono con canali fra loro; altri ne furono costrutti contemporaneamente nei bacini dell' Ohio e del Mississippi, e per congiungere questi a quelli, malgrado la notata interposizione degli Allegani, si era incominciato ad attraversarne la parte più elevata con ferrovie a piani inclinati serviti da macchine a vapore fisse, dette *portages*. Ma vedute le difficoltà da superarsi con questo mezzo, vi si è di poi rinunziato, utilizzando i canali costrutti fino alle radici di quei monti, ed attraversando questi in località opportune con ferrovie continue, quali sono quelle di Baltimora e di Filadelfia che mettono capo all' Ohio rispettivamente a Parkersburg ed a Pittsburg, d'onde proseguono (20).

386. Quella catena per altro va deprimendosi, e si converte in alti piani in prossimità dei grandi laghi del Nord, ai più meridionali de' quali, il Michigan, e l' Erié, si riunì la rete dei canali dell'Ohio e del Mississippi. Dallo stesso lago Erié poi a Buffalo, in prossimità della cascata del Niagara nell'Ontario, si fece partire il canale Erié lungo 363 miglia, che ad Albany termina nell'Hudson, fiume di facilissima navigazione, per essere fino alla sua foce a Newyork formato da acque chiare, che con piccolissimo pendio scorrono in una specie di grande screpolatura rocciosa, cosicchè ha in qualche modo il carattere di lago.

(19) MICHEL CHEVALIER, luogo citato e nota II del 2.° volume. — KLÖDEN, *Handbuch der Erdkunde, Dritter Band der Länder und Staatenkunde von Asien, Australien Africa und America.* Berlin 1869, pag. 1318.

(20) Vedasi l' opera: *Die inneren Communicationem der Vereigneten Staaten von Nord America,* del cav. Gerstner, pubblicata a Vienna dopo la morte di questo da Klein nel 1842, ove nel T. II si danno i particolari di quei passaggi.

387. Al canale Erié si riunirono alla destra altri canali che vi confluiscono, il principale ed ultimo de' quali detto di Chenango, attraversa all'altezza di 700 piedi l'estremo contraforte degli Allegani per unirsi al fiume Susquehanna che ha foce all'Est nella baia della Chesapeak in Pensilvania. Quei canali confluenti di destra, e qualche contropendenza nello stesso canale Erié, sarebbero altrettanti casi ove si verificherebbe il tipo Visconteo di cui si è parlato al § 366. Anche a sinistra del canale Erié si escavarono canali che discendono nell' Ontario. Assegnata al canale Erié la larghezza di 40 piedi al pelo d'acqua, colla profondità di 4 piedi, e condotto a termine intorno al 1825 colla spesa di circa otto milioni di dollari, si riconobbero insufficienti tali dimensioni per sopperire all' immenso movimento che vi si ebbe tosto a sviluppare.

388. Si avvisò quindi di ampliarlo col portarne la larghezza a 70 piedi e la profondità a 7 piedi, raddoppiando le conche con altre di più generose dimensioni onde renderlo capace di navigli di maggiore portata. Per siffatti miglioramenti praticati senza sospendere l'esercizio del canale, intorno al 1840 calcolavasi una spesa di 24 milioni di dollari, tripla di quella già sostenuta per la sua costruzione. All'atto pratico però il debito si portò in totalità a 40 milioni di dollari. Nel 1853, mentre la rendita del canale era di 1,700,000 dollari, il debito erasi ridotto a 15 milioni.

389. La città di Chicago posta verso l'estremo meridionale del lago Michigan, d'onde partiva il canale diretto all'Illinois e quindi al Mississippi, emporio principale del commercio del Nord-ovest, è destinata a divenirne la capitale, siccome lo divenne Newyork per l'Est. Basta il dire che nel 1837 non contava se non 4000 abitanti, e che questi si accrebbero al punto di giungere a 200,000 nel 1865. Nel 1867 il suo commercio era tale che vi si esportarono 15 milioni di ettolitri di grani; 2 milioni di barili di farine, 36,000 tonnellate di carni salate, e 16,000 tonnellate di sego.

390. Il canale che unisce Chicago al Mississippi mediante il suo influente Illinois va ad essere alimentato dalle acque del lago elevate all' altezza di 12 piedi mediante macchine a vapore. Con questo mezzo viensi a procurare una corrente continua, che trasporterà al basso le acque di fogna, le quali finora rendevano putride quelle del fiume che l'attraversa, e dell'attiguo grandioso porto, giusta quanto si è osservato al § 312. Il movimento dei navigli in

quel fiume, ossia canale, riescendo d' ostacolo all' interna circolazione della città, a ciò si va provvedendo col costruire sotto di esso dei tunnels. In quanto alle acque edilizie, vedremo più avanti come vadansi a ricavare dal lago stesso alla distanza di due miglia mediante un tunnel (21).

391. Al maggior prosperamento del commercio di questa città contribuirà non poco un' opera grandiosa intrapresa sul territorio britannico del Canadà. Essa consiste in un ampio canale che unisce l' estremo orientale del lago Uron al lago Simeoe in lunghezza di 29 miglia, coll'acclività di 130 piedi. Da questo lago, altro canale lungo 47 miglia discenderà colla caduta di 470 piedi nel lago Ontario, e quindi nel Sant Lorenzo. Per tal modo vengono ad abbreviarsi le distanze, ed evitandosi le rapide del fiume Saint Clair, che unisce l' Uron, e quindi il Michigan all' Erié, i navigli che salperanno dal porto di Chicago, approderanno ai porti europei direttamente senza trasbordamenti (22).

392. La totale lunghezza dei canali degli Stati Uniti ascende a 5462 miglia, e la loro costruzione avrebbe importato la spesa di 740 milioni di franchi. Per porgere un' idea del progresso dei mezzi di comunicazione conseguente alla migliorata navigazione con piroscafi sui grandi fiumi e laghi, ed a quella dei canali preaccennati, esporremo la lunghezza delle ferrovie aperte nel decennio 1852-62 e delle altre che erano in costruzione le quali oggidì possono considerarsi condotte a termine pei soli Stati, o Territorj al Nord-Ovest. In quelli dell' Ohio, Michigan, Indiana, Illinois, Wisconsin ove nel 1852 non avevano le ferrovie se non la lunghezza di 2192 miglia; questa nel 1862 si era portata ad 11,163 miglia già in

(21) Vedasi l' opera precitata di Gerstner, T. I, pag. 69. Nel T. II, pag. 46 si danno poi i particolari del progetto del canale dell' Illinois, che nel 1842 era in costruzione, e fu compiuto nel 1848. Ivi si osserva (pag. 49) come da principio si fosse nominato un Comitato, il quale opinò di alimentare il canale colle acque del lago Michigan elevandole 10 piedi, allo scopo di scemare le escavazioni nella roccia, partito che allora venne escluso, e cui ora si ricorre per un fine igienico. I fatti preaccennati sonosi ricavati da un interessante articolo della *Revue Britannique* del 1867, T. IV, e dall'opera di Klöden precitata, pag. 1205, sia pel canale Erié, sia per quello dell' Illinois e per Chicago (pag. 1256-58). Rispetto poi ai grandiosi lavori quivi eseguiti per elevare, e trasportare intere case, vedasi l' articolo del prof. Colombo nell' *Annuario scientifico* del 1869.

(22) *Illustrated London News*, Novembre 1866.

esercizio, oltre a 4846 in costruzione. Nei nuovi Stati poi Minesota, Jowa, Missouri, Kansas e California, che nel 1852 non ne avevano di sorta, nel 1862 se ne trovavano in esercizio 1870 miglia, oltre ad altre 4357 miglia in costruzione, che avranno compreso la grande linea del Pacifico attivata nel 1869 (23). Dai fatti dianzi esposti chiaro appare che il favoloso progresso della prosperità degli Stati Uniti è principalmente dovuto alla invenzione di Fulton della navigazione a vapore, mercè la quale le immense solitudini dell'Ovest si convertirono in una regione di una ricchezza sempre crescente ed inesauribile, la quale divenne scopo di una enorme immigrazione europea che tanto contribuisce al rapido aumento della sua popolazione (24).

Art. XXIII. — **Condutture d'acque edilizie per grandi città.**

393. All' art. XIX, parlando della fognatura d' acque immonde per grandi città, abbiamo notato come al risorgere dell' antica civiltà, Milano e Cremona offrissero i primi esempi di tali provvidenze. In quanto poi a quelle risguardanti le acque edilizie, Roma antica uno ne porge assai più grandioso, del quale non havvi riscontro nelle opere intraprese per questo fine presso le più civili nazioni del mondo.

394. La positiva cognizione della copia delle acque edilizie di Roma fino ai tempi di Trajano la dobbiamo alla circostanza, che sotto l' impero del padre di lui Nerva fu nominato curatore delle acque Sesto Giulio Frontino, personaggio illustre, che qual capitano

(23) Bigelow, *Les États-Unis d'Amérique en* 1863. Parigi 1863, pag. 445.

(24) Ivi, pag. 439. In totale le ferrovie ascendevano, nel 1864 a miglia 33000, nel 1868 a miglia 42255, e nel 1869 a miglia 50000. *Philadelphia Record.*

Per i particolari di tutti quei miglioramenti vedansi oltre alle opere precitate di Michel Chevalier, del cav. Gerstner, di Klöden e di Bigelow, dapprima console, e di poi ministro degli Stati Uniti a Parigi :

Michel Chevalier, *Histoire et description des voies de communication aux États-Unis.* Paris 1843.

Poussin, *Travaux d'amélioration intérieure projétés ou exécutés par le Gouvernement général des États-Unis d'Amérique.* Paris 1834.

Idem, *De la puissance américaine . . . des États-Unis.* Paris 1848.

Goodrich, *Les États-Unis d'Amérique.* Paris 1852.

di eserciti si era coperto di gloria nella Gran Bretagna, e che per due volte fu eletto console. Nell'adempimento del nuovo ufficio egli fece cessare una moltitudine di disordini, particolarmente nella distribuzione delle acque; sopra la qual materia poi tramandò fino a noi la sua opera classica: *Sex. Julii Frontini de aquæductibus urbis Romæ Commentarius;* ove espone i particolari relativi, che dimostrano con quanto accorgimento si procedesse anche in quei tempi per un oggetto di tanto interesse. Quest'opera venne pubblicata dal matematico marchese Poleni, arricchita di Prolegomeni e di copiose note (1). Essa venne pure stampata nel 1820, tradotta in francese, dall'architetto Rondelet, e ne porge un interessante estratto l'ingegnere Rozat de Mandres negli *Annales des Ponts et Chaussées* del 1858, sem. II, ove dà un cenno della lunghezza, forma, struttura ed altitudine dei singoli acquedotti, dell'epoca in cui furono costrutti, e del personaggio cui lo si dovette.

395. Nove sono quelli descritti da Frontino, cui dà il nome di *acque,* cioè l'Acqua Appia, la più antica, l'Aniene vecchio, l'Acqua Marcia, la Tepula, la Giulia, la Vergine, l'Alsietina od Augusta, la Claudia, e l'Aniene nuovo. La loro complessiva portata ammonta a Quinarie 24,805, le quali, ove giusta il Rondelet equivalessero a 60 m. c. in ventiquattro ore, darebbero in tal periodo 1,488,000 metri cubici. Che se invece, secondo il parere del chiarissimo idraulico Nicola Cavalieri di Sant Bertolo, il quale per più anni ebbe la dirigenza delle acque di Roma, si calcolasse la quinaria in 63 m. c., la quantità complessiva ascenderebbe a m. c. 1,567,179 ossia a m. c. 18,14 per 1''.

396. Ma sotto gli imperatori che succedettero a Traiano, i quali pure volevano lasciare ai posteri sontuosi monumenti che ne eternassero la memoria, ed in pari tempo assecondare il lusso smodato che ne preparò la rovina, Roma venne arricchita di nuove acque allo scopo principalmente di alimentare Terme, di una magnificenza e grandezza maravigliosa, quali furono quelle di Caracalla, di Diocleziano, e di Costantino; cosicchè Vittore numerava, non

(1) Patavii, 1772. Secondo il Poleni il Commentario di Frontino sarebbesi pubblicato l'anno 101 dell'êra cristiana, e la morte di lui sarebbe avvenuta intorno all'anno 107. *Prolegomeni,* cap. I, N. 37 e 43.

Intorno alle acque di Roma vedasi pure l'opera del Nardini: *Roma antica*, quarta edizione del 1819 con correzioni e note del Nibby, T. III, lib. VIII, cap. IV.

nove, ma venti acquidotti (2). Lo storico Procopio per altro, che conosceva perfettamente i luoghi ne' tempi in che la difesa di Roma era affidata a Belisario, ne enumera soli quattordici; talchè gli altri sei dovrebbero considerarsi siccome semplici diramazioni dei preesistenti. Gli acquidotti aggiunti perciò sarebbero stati le acque Trajana, Sabatina, Ciminia, Dannata Crabra, e Algenziana (3). Supponendo che questi cinque acquidotti avessero una portata equivalente ad un terzo soltanto di quella dei nove anteriori, lo che non potrebbe tacciarsi di esagerazione, ne conseguirebbe che la loro portata complessiva sarebbe ascesa a circa 2,100,000 m. c. al giorno, ossia a 24 m. c. per 1″, portata che all' incirca equivale a quella del nostro Naviglio della Martesana nel suo tronco superiore. Vedremo più avanti che le acque edilizie di Londra giungono appena all' ottavo, e quelle di Parigi, ove ne sia compiuta la condotta, ad un sesto di tale quantità.

397. Distrutti coll' invasione dei Barbari que' magnifici acquidotti, i sommi pontefici Pio V, Sisto V, e Paolo V dal 1570 al 1611, colla cooperazione di altri anche posteriori, li fecero ricostruire in parte, cosicchè coll'*acqua Vergine, coll'acqua Felice e coll'acqua Paola,* si conducono oggidì a Roma 257,770 m. c. in ventiquattro ore, quantità che equivale prossimamente a quella di Londra, quantunque questa abbia una popolazione pressochè sedici volte maggiore (4). In quanto all' antica fognatura di Roma, essa deve essere stata imponente, siccome ne porgono un' idea le dimensioni

(2) Delle terme di Caracalla dà un disegno il Rondelet nella tav. 83 dell'*Art de bâtir* per la sola parte interna più sontuosa. Sarebbe di pianta rettangolare colla fronte di 216^{m} e la larghezza di 114^{m}, da cui sporge a tergo una rotonda del diametro interno di 53^{m}, ed esterno di 47^{m}. Ma dalla pianta di Roma ricavasi che l' intero edifizio aveva una fronte di 380^{m} e la larghezza di 340^{m}. La rotonda poi sarebbe stata circondata da altre costruzioni in guisa di risultarne il diametro di 90^{m}.

Delle terme di Diocleziano vedesi un disegno nell' architettura del Serlio, e sembra di una grandiosità maggiore, costituendo l' intero edifizio un rettangolo di 370^{m} per 340^{m}.

Rispetto poi a quelle di Costantino, non rimangono che poche tracce recentemente scoperte; ma per testimonianza di Sesto Aurelio avrebbero in magnificenza superate le altre (Nardini, T. II, pag. 82).

(3) Nardini, opera precitata, T. III, pag. 378.

(4) Intorno alle acque di Roma moderna, oltre all' articolo precitato dell' ing. Rozat de Mandres, ha scritto il chiarissimo professore Nicola Cavalieri S. Bertolo una Memoria letta all' Accademia Tiberina di Roma nel 1857; come pure il cav. prof. Alessandro Bettocchi l' opuscolo: *Delle acque pubbliche di Roma moderna.* Roma, Salviucci, 1865.

colossali della cloaca massima, la cui esistenza risale a tempi nei quali quella metropoli non era ancora giunta al maggior suo ingrandimento. Ma trattandosi di opere sotterranee non ne rimane altra traccia (5).

398. Nelle *Notizie Naturali e Civili sulla Lombardia* del 1844, aveva offerto un cenno delle acque sotterranee della pianura lombarda, cui detti maggior sviluppo in una Nota letta nel 1858 all'I. R. Istituto Lombardo delle scienze, proponendo un programma di studj pei quali venne nominata un'apposita Commissione. Questi dovevano avere per iscopo, non solo di praticare indagini sui terreni d'alluvione che la compongono, ma eziandio sulle cautele da usarsi per non deteriorare la condizione delle acque potabili di Milano, al che non si ebbe finora alcun riguardo (6).

399. Il ministro d'agricoltura e commercio sig. comm. Torelli pubblicò nel 1866 la Memoria: *Le acque potabili del regno d'Italia;* ove si danno interessanti notizie sulla condizione in che si trovano sotto tale rapporto le varie regioni italiane (7). Ivi riportansi eziandio i risultamenti degli studi sulle acque edilizie di Roma antica e moderna, ricavati dalle opere preaccennate e da informazioni direttamente avute da Roma. Da quella Memoria desumesi quanto sia ancora da farsi presso di noi per un oggetto di così alta importanza.

400. Sull'arte di condurre, elevare e distribuire acque edilizie scrissero in questi ultimi quarant'anni opere pregevolissime Genieys, d'Aubuisson, Darcy, Dupuit, Dumont, e sull'idrologia del bacino della Senna, in relazione a ciò, Belgrand al quale oggidì è affidato il regolamento delle acque di Parigi. Rispetto a quelle di Lione i lavori furono eseguiti dietro proposte dell'ingegnere Dumont, che ne assunse eziandio la direzione, derivandosi le acque dal Rodano, previa una filtrazione naturale in apposita galleria sotterranea, e quindi elevandole colla forza del vapore per distribuirle ai vari quartieri della città (8).

(5) Nardini, ivi, pag. 383.

(6) Vedansi gli *Atti dell'I. R. Istituto Lombardo* ed il *Giornale dell'Ingegnere Architetto* per quell'anno. Sembra che ora vogliansi ripigliare degli studj su tale argomento in quanto concerne le acque edilizie di Milano e del suo contorno, per impulso dello stesso Istituto, il quale propone un premio, giovandosi della Istituzione Cagnola.

(7) Firenze, Tipografia Barbera.

(8) Genieys pubblicò nel 1829 l'opera: *Essai sur les moyens de conduire, d'élever, et de distribuer les eaux,* cui nel 1840 tenne dietro una 2.ª edizione.

401. Avanti al 1865 Parigi veniva provveduta d'acque della Senna elevate colla forza del vapore, e di quelle del canale dell'Ourcq nella quantità di circa 170,000 m. c. al giorno. Dopo d'allora vi si sono dirette sugli altipiani di Belleville, e di Menilmontant alla destra le acque della Marna prese a Saint Maur, e quelle delle limpide sorgenti della Dhuis nella quantità di circa 40,000 m. c. al giorno per ciascheduna, cosicchè l'approvvigionamento giornaliero sarebbesi portato a 250,000 m. c. Si sta ora compiendo un'altra condotta d'acque limpide della Vanne pei quartieri a sinistra della Senna, le quali metteranno capo sull'altipiano di Montrouge ad un serbatoio della capacità di 300,000 m. c., formato in due piani e tutto fuori terra. Si calcola di potervi per tal modo aggiungere altri 100,000 m. c., con che il complessivo approvvigionamento di Parigi sarebbe di 350,000 m. c., de' quali 140,000 di acque limpide di sorgenti (9).

L'opera di Dupuit: *Traité théorique et pratique de la distribution des eaux*, pubblicata nel 1854 contiene nella 2.ª parte un estratto di quella di Genieys. In una 2.ª edizione poi del 1864 egli ha rifuso tutto il suo lavoro.

L'opera di d'Aubuisson, ha il titolo: *Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse — Paris* 1839.

Quella di Darcy: *Les fontaines publiques de la ville de Dijon; exposition et application des principes à suivre* ecc. — *Paris* 1856.

La Memoria più interessante di Belgrand è quella del 1857 (*Annales des Ponts et Chaussées* sem. I). Nella prima parte di essa si dà ragguaglio degli studj sul reggime dei vari corsi d'acqua del bacino della Senna nei diversi loro stati. Nella seconda si offre una statistica della condizione *idrotimetrica* delle varie fonti, ossia della maggiore e minore loro bontà, non solo siccome acque potabili, ma eziandio per gli usi di cucina e delle arti, e per evitare pregiudicevoli incrostazioni ne' tubi di condotta dipendentemente dall'eccesso di sali calcari o magnesiaci tenuti in soluzione. Ivi dalla pag. 293 alla 295 si indica la preferenza che meritano per essere condotte a Parigi le acque della Dhuys e della Vanne, delle quali si parlerà più avanti.

L'opera di Dumont: — *Les eaux de Lyon et de Paris*, è uscita nel 1862.

(9) La Dhuys è un influente del Sarmenin e quindi della Marna. L'acquidotto murato che ne porta le acque a Parigi è della lunghezza di 135 chilometri di cui fanno parte opere d'arte di non lieve impegno. La Vanne, della quale è in costruzione l'acquidotto, che insieme alle sue diramazioni risulterà della lunghezza di 175 chilometri, ha origine a Fonvanne, ed influisce nell'Yonne, e quindi nella Senna. Il condotto attraversa il bosco di Fontainebleau e di poi la valle della Brièvre. Nel fascicolo d'aprile 1870 degli *Annales des Ponts et Chaussées*, (*cronique*), si danno interessanti particolari sulla struttura dell'acquidotto che si va compiendo pel tronco di 60 chilometri attraversante i dipartimenti di Senna a Marna, e di Senna ed Oise. Mancando ivi buone pietre da costruzione, l'opera si eseguisce in calcestruzzo con calce idraulica e cemento di Portland, giusta il metodo *Coignet*. Rispetto alla costruzione

402. Londra viene provveduta d' acque potabili da nove società anonime che le attingono dal Tamigi a monte del punto ove si estendono le maree, mediante macchine a vapore, nella quantità giornaliera di 274,000 m. c. (10). Siccome la distribuzione ai privati si fa direttamente dalle società stesse, ne consegue, come osserva l' ingegnere Huet in un articolo sulle acque di Newyork, e di Washington (11), che gli abitanti di quella metropoli sono sottoposti ai pregiudicevoli effetti di un monopolio, lo che non avviene per le acque edilizie delle città degli Stati Uniti d' America, delle quali ora parleremo, in quanto che la distribuzione si fa ivi direttamente per conto dei municipj, o del governo federale per la capitale Washington.

403. Nel vol. V del *Politecnico* (1842) inserii una Notizia sul grande acquidotto del Croton, della lunghezza di circa 75 chilometri, col quale si andava a provvedere Newyork d' acque potabili. Nel precitato articolo dell' ingegnere Huet si riporta l' estratto della Relazione preventiva del signor Schräncke su quel grandioso lavoro con note concernenti quelli effettivamente eseguiti. In allora la popolazione della città ascendeva a circa 400,000 abitanti; ma nel 1850 si era accresciuta a 515,000; nel 1860 ad 805,000, ed ora oltrepassa un milione. Per una mala intesa economia di circa mezzo milione di lire l' acquidotto si fa attraversare il fiume Harlem con ponte colossale, e con soli due tubi del diametro di 0^{m}; 90, mentre dapprima volevasi portare questo ad 1^{m},20, oppure aggiungervi un terzo tubo. La quantità d' acqua giornaliera di 136,600 m. c. verrà fra poco a rendersi insufficiente per quella grande città, cosicchè converrà riformare in quel punto l' acquidotto onde renderlo capace di una portata maggiore. Considerati i funesti effetti che deriverebbero da una interruzione di quella condotta d' acque, sempre temibile per qualche guasto, si è preso il partito di aggiungere

dei serbatoj coperti di Parigi, vedansi gli articoli del precitato ingegnere Rozat de Mandres negli *Annales des Ponts et Chaussées*, 1859, Sem. II per quello di Passy; e nel Sem. I, 1867 per quello di Gentilly, alimentati entrambi dalle acque della Senna alla sua destra.

(10) Vedasi il Sem. II degli *Annales des Ponts et Chaussées* 1854, (*cronique*). È verisimile che dopo d'allora, atteso l'accrescimento della popolazione, siasi pure aumentata la copia delle acque edilizie di quella metropoli.

(11) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1863, Sem. II.

dal 1850 al 1862 sul prossimo colle un serbatojo di riserva della superficie di circa 39 ettari, della profondità di dieci metri e della capacità di 4,000,000 di m. c., che per sè solo importò la spesa di oltre sette milioni e mezzo di lire. Il dispendio totale, che supponevasi dovere contenersi in circa 8,500,000 dollari, ossieno 42,000,000 di lire, ha superato i 65 milioni.

404. Nella mia Memoria del 1839 sulla somma utilità di estendere in Lombardia l'applicazione dei motori idraulici, di che parleremo in appresso (12), ho dato un cenno delle ruote idrauliche applicate ad un' artificiale cascata dello Schuylkill per alzare le acque dal fiume, e distribuirle alla città di Filadelfia. Di questo argomento parla eziandio l' ingegnere Huet nell' articolo precitato, notando che l' ingegnere Graff, il quale nel 1819 aveva fatto costruire quelle ruote nel numero di otto, e che da principio ne aveva attivata una soltanto, ha vissuto abbastanza per adoperarle tutte nel 1844, dopo di che se ne aggiunse una nona, oltre al sussidio di due macchine a vapore. Il consumo ordinario d'acqua di Filadelfia indicasi in 68,000 m. c. al giorno.

405. Finalmente lo stesso ingegnere Huet viene a parlare del nuovo acquidotto del Potomac che si costruiva ad uso della capitale degli Stati Uniti Washington, con Georgetown. La derivazione ha luogo dal fiume alle *Grandi cascate*, e si conduce lateralmente al così detto canale della Chesapeak all'Ohio (13), a sinistra del fiume, tenendolo incassato nella roccia. Esso verrebbe a riuscire della lunghezza di circa 21 chilometri; importerebbe la spesa di circa 15 milioni di lire, e dovrebbe somministrare 63,000 m. c. al giorno. L' opera venne incominciata avanti che scoppiasse la guerra, e quindi sospesa; ma è verisimile che oggidì sia ultimata.

406. Derivandosi acque da fiumi soggetti a piene, si ha l' inconveniente della torbidezza delle acque in tali circostanze, anche colla precauzione di sospendere nel colmo di esse la derivazione, servendosi delle acque di riserva dei serbatoj. Si idearono filtri per provvedervi, taluno de' quali a corrente alterna ascendente e

(12) Biblioteca Italiana del 1839.

(13) Il canale della Chesapeak all' Ohio si è arrestato a Cumberland, e serve principalmente pel trasporto del carbone dalle prossime ricche miniere; essendosi avvisato di attraversare gli Allegani colla ferrovia continua da Baltimora a Parkersburg sull' Ohio, siccome ho notato al § 385.

discendente, coll'idea che si espurghi per tal modo il filtro da sè; ma sembra che all'atto pratico non si raggiunga lo scopo in modo soddisfacente. L'ingegnere Huet accenna il partito preso dal signor Wetherill pei serbatoj di Filadelfia, di suddividerli in compartimenti mediante tramezze di muro, la cui sommità si approssimerebbe al livello delle acque. Per tal modo le maggiori deposizioni avverrebbero nel primo compartimento, e diverrebbero mano mano minori ne' successivi, cosicchè dall'ultimo si erogherebbero acque chiarificate. Il principio scorgesi consentaneo alle leggi dell'idraulica, ed è indubitato che la chiarificazione delle acque si otterrebbe nel modo il più semplice ed economico.

407. La città di Chicago sul lago Michigan, la cui prosperità procede con una rapidità favolosa, viene a distinguersi anche pel modo semplice ed ingegnosissimo col quale va a provvedersi di acque limpide del lago. A tal uopo, come vedemmo al § 390, intendesi di attingerle da questo a due miglia di distanza dal suo porto mediante un *tunnel;* opera che dicesi non debba richiedere un dispendio maggiore di un milione di dollari (14).

Art. XXIV. — **Utilizzazione delle cadute d'acqua siccome forza motrice.**

408. Allorchè nel 1839 mi traslocai a Milano, vi udiva magnificare i miracoli della forza motrice del vapore pel progresso dell'industria manifatturiera dell' Inghilterra, e lamentare la mancanza di combustibili fossili presso di noi per imitarne l'esempio. Attesa per altro la copia di corsi d'acqua perenni nell' Alta Italia, mi proposi allora di dimostrare l'immenso vantaggio che potevasi ricavare da una fonte più economica del vapore onde supplire al notato difetto dei combustibili. Ed al fine di dare maggior peso al mio assunto, presi a dimostrare come nella stessa Gran Bretagna si tengano in molto conto le cadute d'acqua.

409. Pubblicai perciò nella *Biblioteca Italiana* la mia Memoria *Sulla somma utilità di estendere in Lombardia l'applicazione dei motori idraulici per l'erezione di stabilimenti di manifatture,* della

(14) Vedasi l'art. precitato della *Revue Britannique.*

quale nell' anno seguente 1840 uscì una seconda edizione che si è esaurita. Pel motivo preaccennato esposi un sunto della Relazione dell' ingegnere Roberto Thom sul progetto da lui attuato onde provvedere d' acque potabili la città di Greenock sulla Clyde in Iscozia, e crearvi in pari tempo una enorme forza motrice di oltre 1600 cavalli per stabilimenti manifatturieri.

410. Quel progetto consisteva nel raccogliere le acque cadenti sopra due mila ettari di terreni in collina in varj serbatoj; nel guidare quelle da essi effluenti fino ad un punto chiamato Whin-Hill prossimo a Greenock, elevato più di 500 piedi sul piano basso della città; e nel distribuirle dal punto stesso sopra due linee, una dell' Est e l' altra dell' Ovest, con trentatrè salti destinati a dare movimento ad altrettanti opificj. La capacità complessiva di tutti que' serbatoj veniva ad essere di circa nove milioni di m. c. Il signor Thom calcolava l' occorrenza annuale di 17 milioni di m. c., e l' esperienza di due anni dimostrò che effettivamente essa era di 20 milioni di m. c.; cosicchè coi soli serbatoj si provvedeva ai bisogni di oltre sei mesi. In quella Relazione si espongono i particolari degli artifici ingegnosissimi destinati a regolare l' efflusso delle acque, e lo scarico delle esuberanti, i quali consistevano in porte, o saracinesche a movimento spontaneo d' invenzione dell'autore, chiamate *self acting sluices*, di cui si indicano nove combinazioni, essendo sempre in esse un contrappeso idraulico l'organo principale. Il signor cav. Masclet console di Francia, in due articoli inseriti nel *Journal du Génie Civil*, tom. VII (1830) dette una minuta notizia di quest' opera singolare; e l' ispettore Mallet inserì nel primo volume degli *Annales des Ponts et Chaussées* (1831) la traduzione della Memoria del signor Thom pubblicata in Inghilterra, corredandola di tavole, col mezzo delle quali si può formarsi un idea tanto del piano generale, quanto dei congegni preaccennati.

411. Al § 352 abbiamo notato come già da molto tempo serbatoj simili si fossero costrutti in Ispagna per l'uso precipuo delle irrigazioni, giusta il ragguaglio che ne dà Aymard. Trattasi per altro di opere pericolosissime, giacchè un guasto che avvenga in esse può dar luogo ai più terribili disastri col precipitarsi da considerevole altezza un enorme corpo d' acqua. Tale infortunio avvenne appunto in Ispagna nell' aprile del 1802, colla rovina della chiusa del serbatoio di Puentes dell' enorme altezza di 50^m, dopo

undici anni dalla sua costruzione. L'irruzione delle acque cagionò la morte di 600 persone; la distruzione di 800 case della piccola città di Lorca, ed un danno pecuniario che si calcolò di cinque milioni e mezzo di franchi. Un disastro simile avvenne non ha guari a Bredfield presso Scheffield nella valle del fiume Don. Ivi il serbatojo erasi formato mediante diga di terra lunga più di un miglio dell'altezza di oltre 20^m, rivestita di muro. La sua capacità era di 3,400,000 m. c. e la profondità dell'acqua variava dai 10 ai 12^m. Il 19 marzo 1864 un violento uragano promovendo una straordinaria agitazione delle acque, queste squarciarono la diga, e la loro irruzione distrusse interi villaggi colla morte di parecchie centinaja di abitanti, apportando danni materiali incalcolabili (1).

412. Siccome que' serbatoi raccolgono le acque di un piccolo bacino, i dati del quantitativo delle piogge su di esso cadente sono sempre incerti rispetto al suo massimo. Imperciocchè, a differenza di quanto avviene in bacini molto estesi, ove di solito un fenomeno meteorico straordinario di una tromba o nubifragio non ne colpisce se non una parte; quivi invece lo può abbracciare integralmente anche ad epoche molto fra loro lontane. Per evitare quindi simili sciagure, occorrono le più gelose cautele onde procurare per quei casi eccezionali un regolare scarico delle acque esuberanti. Ciò poi che maggiormente importa si è la stabilità di chiuse, che talvolta si richiedono in misure gigantesche, contro l'azione combinata della pressione verticale della loro massa, della spinta dell'enorme colonna d'acqua che allora sostengono, e della percossa delle onde.

413. Già da qualche secolo, come vedemmo, costruivansi in Francia serbatoj per alimentare canali navigabili a punto di partizione; ma non eransi stabilite regole positive per la struttura e la forma delle loro chiuse. Questa lacuna venne riempita nel 1850 dal distinto ingegnere de Sazilly colla sua Memoria: *Sur le type de profil d'égale résistance proposé pour les murs de réservoirs d'eau,* inserita negli *Annales des Ponts et Chaussées* del 1853, sem. II, un anno dopo l'immatura sua morte (2). In quello scritto egli espone con molta finezza di criterio i principj fondamentali secondo

(1) Aymard, opera precitata pag. 257 e 269. — *Illustr. London News,* Sem. I, 1864.
(2) L'ingegnere de Sazilly morì nel dicembre del 1852 nella fresca età di 40 anni.

i quali deve regolarsi il calcolo statico di quegli edifizj importantissimi, cosicchè dopo d'allora si ebbe una norma razionale per la loro erezione.

414. Abbiamo veduto nell'art. XVII come s'intendesse in Francia di attenuare le maggiori piene della Loira mediante un considerevole numero di serbatoj di ritenuta nella regione montuosa del suo bacino, e per quali ragioni siasi di poi rinunziato a tale dispendiosissimo e poco efficace provvedimento. Uno di que' serbatoj fu incominciato nel 1861 sul Furens presso Saint Etienne; e poichè potevasi valersene, non tanto per lo scopo primitivo, quanto per quello di sussidiare l'approvvigionamento delle acque edilizie di essa città, e di economizzare le acque dello stesso Furens in guisa di meglio utilizzarle a vantaggio degli opificj disposti sul corso inferiore di quell'affluente della Loira, si è preso il partito di compiere la diga o chiusa, portandola all'enorme altezza di 50^m sul fondo della valle. Le cose sonosi regolate in modo di giovarsi della capacità di tale serbatojo fino all'altezza di $44^m,50$ per gli scopi edilizj ed industriali preaccennati, e della successiva fino a 50^m per moderare le piene del fiume stesso a difesa di essa città di Saint Etienne, e non più pel corso inferiore della Loira.

415. Il chiarissimo ingegnere Graeff, che aveva avuta una parte principale nella costruzione di quel serbatojo pel fine primitivo, e nella sua trasformazione, dietro invito del ministro, presentò un interessante rapporto su quei lavori, che vedesi inserito nel II semestre degli Annali precitati per l'anno 1866. Egli porge un cenno del loro complesso, e quindi passa a trattare particolarmente della chiusa, attenendosi in massima ai principj sviluppati dall'ingegnere Sazilly, meno per la parte superficiale delle sue fronti, che disporrebbe sotto una superficie curva continua, e non a gradini; dimostrando che per tal modo, a pari grado di stabilità, si ottiene una notevole economia nel materiale da impiegarsi. Egli passa di poi a fare il confronto del suo profilo con quello d'altri muri di chiuse, e particolarmente con quelli dei serbatoj della Spagna descritti da Aymard. A tale rapporto succede una Memoria del suo collaboratore ingegnere Delocre, ove teoricamente dà un ampio sviluppo a siffatta materia.

416. L'ingegnere signor Kranz, che ebbe parte nella dirigenza della costruzione di serbatoj nel bacino dell'Ardêche, ed erasi oc-

cupato egli pure particolarmente degli studj sul profilo delle loro chiuse, in una Memoria ora pubblicata ne porge un ragguaglio (3). Egli esordisce col dimostrare mediante esempj concernenti quel bacino, l'incerta efficacia di tali serbatoj per attenuare la piena massima de' fiumi, e come sia preferibile il partito di giovarsi delle acque ivi accumulate per irrigazioni, e per utilizzarle, particolarmente nelle magre estive, siccome forza motrice a vantaggio di opificj esistenti, o da erigersi di nuovo. Quegli studj li aveva fatti seguendo i principj esposti da Sazilly, salva qualche modificazione, ed avanti alla pubblicazione del Rapporto di Graeff; e si è deciso di dare alla luce anche il suo lavoro, quantunque non diversifichi essenzialmente da quello del suo predecessore. Egli pure istituisce confronti con i profili di altre chiuse esistenti in Francia, o nella Spagna.

417. Ritornando alla mia Memoria del 1839, dopo avere accennato quanto al fine summentovato erasi fatto nell'Inghilterra per gli opificj di Greenock, passai a parlare di ciò che erasi su questo particolare operato negli Stati Uniti dell'America del Nord. Dato un cenno delle ruote idrauliche mosse da un artificiale cascata del fiume Scuylkill per elevarne le acque e distribuirle agli usi edilizj di Filadelfia, porgo un ragguaglio di quelle create sul fiume Merrimack nel Massachusetts per l'uso delle quali si è fondata la città di Lowell. Essa nel 1834 contava di già 15 mila abitanti, de' quali 8000 erano operai, per la più parte femmine, popolazione che si è di poi accresciuta fino a 36,000 abitanti.

418. Nè qui si arrestò lo spirito intraprendente di quella nazione, chè intorno al 1847, sullo stesso fiume Merrimack, mediante una traversa del salto di 28 piedi, si è creata un' altra enorme forza motrice, e vi si è fondata la nuova città di Lawrence, la quale nel 1868 contava 30,000 abitanti, fra cui oltre ad 8000 operaj, con immensi stabilimenti di filatura e tessitura di cotone e di lane (4).

(3) Parigi, 1870, presso Dunod.

(4) Le varie società che fondarono questi opificj tanto a Lowell, quanto a Lawrence, hanno ben anche provveduto per l'alloggio e pel mantenimento degli operai. A tal uopo si eressero case, e si stabilirono pensioni, ove vengono alimentati a prezzi moderati. Ivi sono distinti i quartieri assegnati agli ammogliati, ai nubili ed alle ragazze, alla sorveglianza delle quali sono destinate matrone, di solito vedove. Queste ragazze, che ascendono ad oltre i due terzi del numero totale degli operaj, sono figlie di coloni, ossia di coltivatori,

419. Osservava in quella Memoria del 1839 che presso di noi non possono attendersi i miracoli operati da quei puritani; ma che in una scala assai più moderata sarebbe dato di far molto coll' avvertenza di adempiere alle seguenti condizioni nella scelta delle cadute d'acqua da utilizzarsi.

1.° Che la forza motrice sia considerevole per la quantità dell' acqua combinata coll' altezza della cascata.

2.° Che tale quantità sia perenne, e di una commoda applicazione all'organo meccanico sul quale deve agire.

3.° Cbe il costo dell'acqua non sia molto elevato.

4.° Che il terreno si presti tanto per la condotta dei canali da derivarsi, quanto pel collocamento dei diversi stabilimenti manifatturieri.

5.° Che la località sia prossima ad un centro abitato onde avere sulle prime con facilità degli operai, od almeno un mezzo di ricoverarli e di provvedere ai loro bisogni senza grandi sacrifizi.

6.° Che il prezzo della mano d'opera sia moderato.

7.° Che un sistema di commode comunicazioni unisca gli stabilimenti che si volessero erigere ai centri di consumazione, ed a quelli eziandio d' importazione delle materie prime.

8.° Che da principio il piano delle opere sia eseguibile in una misura limitata, senza che sia tolto di darvi successivamente maggiore estensione, conservandosi però sempre una certa proporzione fra la spesa da anticiparsi e l' effetto delle medesime.

Queste norme indicava trent' un anni sono, avanti che si desse tanto sviluppo alle vie di comunicazione, e si perfezionassero nei motori idraulici gli organi meccanici al grado in che oggidì li vediamo; cosicchè potrebbero ora, per le variate circostanze, ridursi a termini assai più semplici.

420. Avendo di poi preso ad indagare quali località presso di noi sieno maggiormente appropriate per l' applicazione di quei motori,

le quali provengono da distanze anche di 80 a 100 miglia. Si occupano in que' stabilimenti per quattro o cinque anni dall' età di 16 a 24 anni, costituendosi coi risparmi una dote di 1200 a 1800 lire, dopo di che ritornano alle loro case ove si maritano. È maraviglioso il vedere con quale compostezza si contengano quelle giovani isolate a tanta distanza dalle loro famiglie. Vedansi per Lowell le *Lettres sur l'Amérique du Nord par Michel Chevalier* precitate, Tom. II; e per Lawrence un articolo nel *Giro del Mondo* del 2.° sem., 1869.

dimostrai che tale avrebbe potuto essere il Naviglio della Martesana sopra Cassano. Imperciocchè sarebbe dato d'introdurvi un copioso corpo d'acqua, oltre alla sua competenza, senza alterarne in misura notevole il livello; e di restituirlo all'Adda con un salto considerevole a monte delle derivazioni del Retorto e della Muzza, quindi senza pregiudizio delle irrigazioni, creando così una immensa forza motrice, paragonabile a quella di Greenock, ma senza i pericoli a quella annessi. A tal uopo sarebbe stato mestieri modificare con spesa non molto grave gli edificj di derivazione, incominciando i lavori in una scala moderata, salvo a darvi maggiore estensione mano mano che l'esperienza lo consigliasse. Notava il fatto importantissimo di aversi colà una popolazione compatta, in quanto che quella dei due distretti prossimi di Treviglio e di Gorgonzola ascendeva a 235 individui per ogni chilometro quadrato, mentre quella media della pianura lombarda è di soli 151 individui, circostanza che influirebbe sulla moderazione del prezzo della mano d'opera.

421. Scendeva di poi a discutere la questione se presso di noi sia conveniente di estendere la industria manifatturiera, dimostrando che essa può associarsi senza danno all'agricoltura, siccome ne porge una prova ineccepibile l'Inghilterra. Imperciocchè riportava il risultamento di studj fatti su tale materia, dai quali appariva che dopo la metà dello scorso secolo i progressi di questa avrebbero colà accresciuta la produzione del suolo nell'enorme somma di 72 milioni di sterline all'anno (1800 milioni di franchi) senza che perciò venissero impediti quelli cotanto rapidi e maravigliosi della industria manifatturiera (5).

422. Tale scritto dette un impulso all'erezione di qualche fabbrica, ma la mia proposta venne paralizzata da sottigliezze sostenute dal fisco rispetto alla concessione di poche acque per la nuova filatura e tessitura meccanica in Vaprio, e per l'ampliamento di quella cartiera; cosicchè nella quasi contemporanea erezione della filatura del lino in Cassano si preferì il partito di valersi a questo fine di una caduta esistente nella stessa valle dell'Adda presso Gropello che adoperavasi per un opificio di sega (6).

(5) Vedasi su questo particolare un articolo dell'*Edinburg Review* N. CXXVI jan. 1836, pag. 320 e 321, sotto il titolo: *Progress and present state of agriculture.*

(6) Vedasi quanto è da me esposto all'art. 20 della mia Relazione *Sul sistema irriguo della Lombardia* del 1856, inserita nel fascicolo di giugno 1870 del *Politecnico*, rispetto ai vincoli imposti in quelle concessioni.

423. Nei Cenni idrografici inseriti nel 1844 nelle *Notizie Naturali e Civili sulla Lombardia*, parlando della forza motrice delle acque, indicai le località ove questa erasi utilizzata, e la mia proposta per fare altrettanto con quelle dell'Adda sopra Cassano. Notava in pari tempo esservi dubbio che potesse farsi progredire con tal mezzo presso di noi l'industria manufatturiera fino ad un grado di floridezza, dal momento che lasciavasi tuttavia inoperosa alla sola distanza di tre chilometri da Milano alla Conca del Lambro sul Naviglio di Pavia una caduta della forza di ben 300 cavalli vapore.

424. Dopo d'allora però le menti si scossero, e sorsero qui pure grandiosi stabilimenti per la costruzione di macchine, quale sarebbe quello dell'Elvetica. Venne utilizzata per manifattura la cascata del fiume Lambro in Marignano, ed altrettanto avvenne per quelle del Brembo nella provincia di Bergamo, e da ultimo anche per quella preaccennata della Conca del Lambro, ove l'intraprendente signor Ambrogio Binda ha eretto una magnifica cartiera che va mano mano estendendosi in guisa di approfittare integralmente di tutta la ragguardevole forza motrice di essa.

425. V' ha di più che il nostro Governo sarebbesi persuaso della necessità d'incoraggiare tali imprese, siccome ne fa prova la recente concessione al Duca Visconti di Modrone di accrescere la forza motrice della grandiosa filatura di Vaprio con un corpo d'acqua del Naviglio della Martesana più che doppio di quello risultante dalle due concessioni preaccennate. E ciò senza i vincoli cui queste eransi legate, facendo in pari tempo ragione ai diritti dei terzi con misure equitative, ma non imposte per capriccio dai reclamanti. Si ha quindi fondato motivo di sperare che le cose abbiano a progredire di bene in meglio anche sotto questo rapporto, e che veduti i sommi vantaggi che ne derivano, l'arte abbia ad adoperarsi per ricavare il miglior partito che si possa da un elemento del quale la natura con vera prodigalità ci ha arricchiti.

PROSPETTO *X*

dimostrante la copia delle acque dei fiumi qui appresso indicati nei diversi loro stati, in relazione all' estensione del rispettivo bacino.

Vedi il § 149.

Numero progressivo	NOME DEL FIUME	SUPERFICIE del bacino in chilometri quadrati	DEFLUSSO UNITARIO in metri cubici		
			medio o modulo	in piena massima	in magra assoluta
(1)	Rodano ad Arles . . .	92 700	1 718	10 000	600
(2)	Po a Pontelagoscuro .	69 382	1 720	6 254	214
(3)	Garonna a Marmande	51 940	659	7 700	37
(4)	Saona a Trevoux . . .	30 670	432	3 400	22
(5)	Ticino	6 466	411	5 400	71
(6)	Tevere a Roma	16 725	292	1 713	160
(7)	Senna a Parigi	44 375	250	1 800	75
(8)	Adda lacuale	4 330	181	827	18
(9)	Mincio	2 044	77	139	35
(10)	Oglio lacuale e Cherio	1 915	75	320	20
(11)	Eure, infl. della Senna	5 700	16	90	8
(12)	Reno bolognese infer.e	4 892	36	1 000	2
(13)	Nilo presso il Cairo .	3 000 000	3 421	10 177	407
(14)	Mississippi inferiore .	3 221 000	19 111	35 250	?
(15)	Amazzone	5 000 000	95 000	150 000	?

Osservazioni. — Per le piene di afflusso de' fiumi lacuali della Lombardia il numero dell' ultima colonna sarà da moltiplicarsi, rispetto al Ticino per 2; all' Adda per 3; all' Oglio per 2, ed al Mincio per 5,75; cosicchè per ogni miriametro quadrato di bacino si avranno di piena massima, pel Ticino m. c. 166,92; per l' Adda m. c. 56,61; per l' Oglio m. c. 35,26, e pel Mincio m. c. 39,16. Da tale prospetto risulta essere veramente anormali al confronto degli altri fiumi, per la perennità il Tevere, e per la portata delle piene il Ticino. Vedansi intorno a ciò i paragrafi 148 e 336 della presente Guida.

TO COL MODULO		Strato d'acqua sul-l'intero bacino equivalente al deflusso annuale, metri	DEFLUSSO UNITARIO per ogni 100 chilometri quadrati		
			di magra massima		
sima	della magra massima annuale, grado di perennità		assoluta metri cubici	annuale metri cubici	di piena massima metri cubici
2	0, 407	0, 584	0, 644	0, 755	10, 79
4	0, 375	0, 781	0, 308	0, 938	9, 01
9	0, 152	0, 401	0, 071	0, 197	14, 83
7	0, 125	0, 442	0, 072	0, 179	11, 08
4	0, 267	2, 000	1, 098	1, 700	83, 46
36	0, 633	0, 551	0, 957	1, 108	10, 25
20	0, 456	0, 186	0, 169	0, 257	4, 05
42	0, 204	1, 320	0, 416	0, 854	18, 87
80	0, 714	1, 188	1, 712	2, 696	6, 81
27	0, 480	1, 235	1, 044	1, 875	17, 63
62	0, 625	0, 088	0, 140	0, 175	1, 57
78	0, 083	0, 232	0, 041	0, 061	20, 41
98	0, 208	0, 036	0, 013	0, 024	0, 33
85	0, 326	0, 190	?	0, 197	1, 09
68	0, 421	0, 600	?	0, 800	3, 00

Segue l'indicazione degli autori da cui sonosi ricavati i dati esposti:

(1) Surell. — (2) Lombardini. — (3) Baumgarten, — (4) Commissione idrometrica di Lione. — (5) Lombardini. — (6) Venturoli, Cavalieri, Lombardini. — (7) Dausse. — (8) Lombardini. — (9) Idem. — (10) Idem. — (11) S. Clair, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1857, I. — (12) Lanciani, *Giornale del Genio Civile,* Giugno 1870. — (13) Lombardini. — (14) Humphreys ed Abbot. — (15) Lombardini.

SOMMARIO

diviene acclive fino alla sommità dello scanno, ove le acque del fiume si spianano su quelle del mare . . . . Pag. 31.

X. **Estuario adriatico. — Cangiamenti in esso avvenuti. — Colmamento delle paludi presso l' ultimo tronco del Po, e loro bonificamento.** — Grande laguna occidentale fra Rimini ed Altino, separata dal mare da un cordone litorale regolarissimo. — Sua divisione in Padusa, Estuario padano e Laguna veneta. — Successiva laguna Caprulese, ossia di Caorle, ove cessa la regolarità della curva del cordone litorale, atteso il carattere torrentizio de' fiumi affluenti e la particolare azione de' venti. — Cangiamenti avvenuti in epoche storiche per colmamento di essa e per la sua protrazione verso oriente nel seno di Monfalcone. — Laguna veneta; antica sua condizione; effetti della diversione de' fiumi da essa. — Colmamento della Padusa (80). — Ravenna fondata dai Tessali 12 secoli avanti all'era volgare. — Porto di Classe nell'attigua laguna. — Ne' primi secoli dell' era stessa rimane interrato dalle deposizioni de' fiumi, e Ravenna è oggidì distante otto chilometri dal mare. — Reticole segnate sulla carta topografica presso la via Emilia, che indicano la divisione de' terreni assegnati alle antiche colonie romane, ed il margine della Padusa. — Avanzi di reticole simili in altre parti delle pianure subapennina e subalpina, che offrono la soluzione di questioni storiche ed idrologiche. — Estuario padano. — Spina fondata dagli Elleni sul ramo principale del Po decade in breve tempo. — Occupazione della Valle del Po da parte degli Etruschi. — Fondazione di Adria; diversioni del corso del Po; Fosse Filistine; fondazione di Mantova. — Traccia degli alvei derelitti di fiumi torbidi sulle carte topografiche. — Con esse si tiene dietro ai cangiamenti avvenuti nel corso dell'Adige, e dei torrenti dell'Apennino fra l'Enza ed il Panaro. — Diversa forma delle alluvioni del Po, dipendente dalla maggiore o minore rapidità del protendimento delle sue foci in mare (83). — Riferite al cordone litorale, servono qual cronometro per determinare l' antichità relativa, e con qualche approssimazione quella assoluta di esse foci. — Plinio porge una esatta descrizione delle foci del Po, e del piano degli Etruschi. — Cangiamenti avvenuti nel corso dell' ultimo tronco nel Po e nelle contigue paludi, avanti e durante la dominazione romana, e quindi nel medio evo. — Fondazione di Ferrara. — Primo bonificamento delle paludi da Piacenza alla foce dell'Enza, operato da Emilio Scauro. — Cambiamenti nel corso del Po sotto Guastalla verso l' VIII secolo dell'èra volgare. — Rotta di Ficarolo avvenuta nel secolo XII, per cui si è totalmente cangiato il corso dell'ultimo tronco del Po (85). — Principale sua causa si fu l'interramento del Po di Ferrara e del braccio di Primaro per esservisi immessi inalveati i torrenti dell'Apennino. — Cronichetta di Ferrara dell'anno 1310, che dà una preziosa descrizione idrografica del Ferrarese per quel tempo. — Nuova inalveazione della Secchia nel secolo XIV, che iniziò il primo bonificamento della palude Bondeno fra quel fiume ed il Panaro (87). — Compimento delle arginature del Po pel Mantovano nel secolo XV. — Bonificazione

di progetti pel loro miglioramento. — Bonificamento delle Paludi Pontine. (229). — Piano imperfetto del Rapini, che ne indicò la spesa preventiva in 564,000 lire, mentre dal 1778 al 1792 si spesero 8 milioni senza raggiungere appieno lo scopo. — Piano del Prony. — Lavori effettivamente eseguiti di poi. — Bonificamenti nel già regno di Napoli, del lago Salpi, della valle del Volturno e di altre località, in generale per essiccamento, ed in piccola parte per colmata (237). — Essiccamenti meccanici (240). — Metodo olandese. — Prosciumento del lago d'Harlem della superficie di circa 180 chilometri quadrati, col fondo depresso 4m sotto il livello del mare, incominciato verso il 1840, ultimato intorno al 1852, mediante tre colossali macchine a vapore e trombe aspiranti, oltre al sussidio di ruote mosse pure dal vapore. — Nel 1859 vi si erano stabiliti 7200 abitanti ed erette tre chiese con annesse tre scuole frequentate da 300 fanciulli. — Le opere importarono il dispendio di 21 milioni, e dalla vendita dei terreni si sono ricavati soli 15 milioni. — Si è per altro provveduto alla pubblica difesa coll'impedire che quel lago continuasse ad estendersi, — Applicazione di quel metodo ai terreni palustri presso le lagune venete ed il Basso Po. — Effetti ottenuti nelle varie località. — Bonificamento per colmate (246). — Antica condizione della Valdichiana ove furono applicate. — Storia delle varie fasi per le quali passò quel bonificamento. — Inattendibili proposte del Torricelli, erroneamente considerato siccome inventore delle colmate, e che rivelano come a' suoi tempi fosse tuttavia bambina l'idraulica pratica, particolarmente pei più celebri scienziati (251). — Critica del piano del Fossombroni (254). — Piano del Manetti. — Insussistenza dell'ipotesi del Fossombroni sull'antica condizione della Valdichiana, quantunque ammessa dal Prony, dall'Humboldt e da altri dotti (256). — Proposte del Possenti per la stabile sistemazione della Valdichiana (259). — Come possa questa conseguirsi senza aggravare la condizione di Firenze rispetto alle piene dell'Arno (264). — Antiche paludi alla destra dell'Arno, da Firenze al mare, che resero difficile la spedizione di Annibale (266). — Bonificamento completo dell'avvallamento di Prato e Pistoja. — Miglioramenti già operati, ed ulteriori proposte pel padule di Fucecchio. — Prosciugamento del lago di Bientina mediante botte sotto l'Arno. — Miglioramenti alle maremme lucchesi e pisane (271). — Bonificamento delle paludi senesi (274). — Lavori eseguiti nello scorso secolo. — Piani dello Ximenes e del Fantoni. — Lavori intrapresi dopo il 1827, particolarmente pel lago di Castiglione, e la pianura di Grosseto (277). — Piano del Fossombroni, che intendeva compierne la colmata in sette anni col dispendio di 820,000 lire. — Opere effettivamente eseguite per quella pianura, che importarono oltre a 20 milioni, spesa che in totalità verrà ad oltrepassare i 24 milioni. — Considerazioni sulle cause della malsania dell' aria (283). — Bonificamenti che si stanno eseguendo in Francia nella *Sologne*, nella *Dombes*, nella *Brenne*, nella *Double* e nelle Lande della Guascogna (286). — Proposta del Duponchel di applicare a queste le colmate, che si dimostra inattendibile (292). — Bonificamenti sul

cuzione di grandi opere pubbliche nella Francia in conseguenza della Rivoluzione, delle successive guerre, e dei danni dell'invasione straniera, solo verso il 1830 s'incominciò la costruzione d'importanti canali, che si prosegui fino al 1845. — Dal 1850 al 1860 prevale la costruzione delle ferrovie. — Successivamente si ripigliano in Francia con alacrità i lavori per la costruzione dei canali e per la canalizzazione dei fiumi, cosicchè nel 1868 le spese avrebbero sorpassato pei primi 800 milioni, e 240 milioni per gli altri. — Trattati tecnici, e storie dei canali della Francia; Belidor, Architettura idraulica; generale Andreossy, Storia del canale del Mezzodi; Gauthey, Memoria sul canale del Centro, pubblicata da Navier; Storia di Dutens; Principj razionali di Brisson e di Dupuis de Torcy pel tracciamento di quei canali; Sganzin, Corso ampliato da Reibell; Minard; Graeff; Bazin; Lermoyer; Chanoine e Lagrené (374). — Il primo canale navigabile dell'Inghilterra del Duca di Bridgwater viene incominciato nel 1755 (381). — Durante la guerra colla Francia dal 1792 al 1815 per la costruzione di que'canali s'impiega ivi il capitale di 700 milioni. — Grande canale Caledonio nel Nord della Scozia praticabile dalle fregate, eseguito dal 1815 al 1822. — Opere nelle quali si dà ragguaglio di quei lavori. — Gli Stati Uniti dell'America del Nord solo nel 1808 costruirono il loro primo canale detto di Middlesex fra Boston e Lowell. — Separato il territorio dell'Ovest da quello dell'Est dalla catena degli Allegani, i fiumi oceanici di questo erano bensì navigabili, ma fra loro disgiunti. — I grandi fiumi poi dell'Ovest, il Mississippi e i poderosi suoi affluenti, erano navigabili in discesa, ma in ascesa dovevano le barche valersi della forza dei remi, coll'incerto sussidio delle vele. — Di queste barche non ve ne erano se non dieci della media portata di 100 tonnellate, le quali per quel commercio impiegavano in ogni viaggio da 100 a 200 giorni. — Al genio del loro concittadino Roberto Fulton dovettero la loro rigenerazione. — Reduce nel 1807 dall'Inghilterra e dalla Francia, ove le sue proposte per la navigazione a vapore non avevano incontrato favore, fece sull'Hudson presso New-York i primi esperimenti con risultamenti assai moderati. — Nel 1811 un primo piroscafo, partendo da Pittsburg, discende l'Ohio ed il Mississippi fino a Nuova Orleans. — Nel 1817, due anni dopo la morte di Fulton, un piroscafo risale il Mississippi e l'Ohio da Nuova Orleans a Louisville, impiegandovi 25 giorni. — Nel 1828 il piroscafo *Tecumseh* percorre lo stesso tratto in 8 giorni. — Nel 1834 gli Stati della Luigiana e dell'Ohio avevano già attivati 177 piroscafi, numero che nel 1867 giunse a 795, della complessiva portata di 235,000 tonnellate. — Col progresso della navigazione a vapore si moltiplicano i canali (385). — Il principale di essi l'Erié, che dal lago dello stesso nome mette al fiume Hudson, lungo 363 miglia, costrutto colla spesa di 8 milioni di dollari, in dimensioni troppo piccole per l'immenso traffico cui doveva servire, venne ingrandito senza sospenderne il servizio. — Il debito per esso incontrato, salì a 40 milioni di dollari. — La città di Chicago, fondata nel 1830 in riva al lago Michigan, ove colle acque di questo elevate 12 piedi mediante

pompe, si alimenta ora il canale che la congiunge al fiume Illinois e quindi al Mississippi, è divenuta il principale emporio del commercio del Nord-ovest. — La sua popolazione è cresciuta al punto che nel 1867 contava 200,000 abitanti. — Grandioso canale fra i laghi Huron ed Ontario, che sembra incominciato nel 1866, mediante il quale dal Porto di Chicago i navigli trasporteranno direttamente le merci ai porti dell'Europa. -- Negli Stati dell'Ohio, Michigan, Indiana, Illinois e Wisconsin, ove nel 1852 le ferrovie avevano la lunghezza di 2192 miglia, nel 1862 eransi portate ad 11,163 miglia in esercizio, oltre a 4846 miglia in costruzione. — Nei nuovi Stati poi di Minesota, Jowa, Missouri, Kansas e California, che nel 1852 non ne avevano di sorta, nel 1862 se ne trovavano in esercizio 1870 miglia, oltre a 4357 in costruzione, ne' quali vi si comprende la strada del Pacifico attivata nel 1869 . . . . Pag. 170.

XXIII. **Condutture d'acque edilizie per grandi città.** — Le acque di Roma antica ai tempi di Trajano, ascendevano ad oltre un milione e mezzo di m. c. al giorno. — Supponendo che sotto gli imperatori successivi si fossero accresciute di un terzo, sarebbero ascese a 2 milioni di m. c., quindi ad otto volte quelle di Londra ed a sei volte quelle di Parigi, allorchè queste saranno complete. — Le acque di Roma moderna ascendono a 257,000 m. c. al giorno, e perciò eguagliano quelle di Londra, quantunque questa abbia una popolazione sedici volte maggiore. — Il rimanente dell'Italia sotto tale rapporto trovasi in uno stato miserando, toltane una parte delle pianure subapennina e subalpina, ove si hanno acque di pozzi generalmente buone. — Opere pubblicate in Francia sulle condutture delle acque edilizie (400). — Parigi prima del 1865 aveva 170,000 m. c. d'acqua estratta dalla Senna e dal canale dell'Ourcq. — In quell'anno vi si aggiunsero 80,000 m. c. di quelle derivate dalla Marna e dalle sorgenti della Dhuys; ed ora si sta compiendo la condotta di quelle della Vanne, pure limpide, con acquedotti lunghi 75 chilometri, talchè verrà di poi ad avere una provvigione giornaliera di 350,000 m. c. — Le acque di Londra si attingono dal Tamigi nella quantità di 274,000 m. c. — Quelle di Nuova York derivate intorno al 1842 col grande acquidotto del Croton lungo 75 chilometri, ascendono a 136,000 m. c. al giorno, talchè sarà mestieri eseguire tuttavia opere dispendiose per aumentarne la portata ove con grandioso ponte esso attraversa il fiume Harlem. — Le spese si accrebbero fino a 65 milioni di lire, anche per costruire dal 1850 al 1862 un serbatojo della capacità di quattro milioni di m. c. onde provvedere all'evenienza di qualche guasto nell'acquedotto. — Quando s'incominciarono i lavori, la popolazione della città era di 400,000 abitanti, mentre ora oltrepassa il milione. — Le acque di Filadelfia ricavate con grandiose ruote idrauliche e con due macchine a vapore dallo Scuylkill ascendono a 68,000 m. c., e quelle di Washington, derivate dal Potomak a 163,000 m. c. — Per chiarificare le acque di fiume, Wetherhill, in luogo di filtri, avrebbe suddiviso i serbatoj di Filadelfia in compartimenti mediante muri di tramezza che si elevano fino in prossi-

---

AVVERTENZA. — Attesa la natura e la moltiplicità delle materie toccate nella *Guida*, le terranno dietro di tempo in tempo Appendici, nelle quali si rettificheranno le inesattezze sfuggite, si supplirà alle dimenticanze occorse, e si darà un cenno dei progressi dei varj rami della scienza cui essa si riferisce.

FINE.

MEMORIE

PUBBLICATE DALL' AUTORE

Le memorie delle quali è indicato il prezzo si trovano in vendita in Milano presso la Tipografia degli Ingegneri, via Lupetta N. 7 e 9, e presso il librajo Teodoro Laengner, Galleria De-Cristoforis N. 59, 60. Le altre si trovano nelle seguenti raccolte periodiche pubblicate a Milano.

Biblioteca Italiana (*Bibl. It.*); *Politecnico* (*Pol.*); *Memorie del R. Istituto Lombardo delle scienze* (*Mem. dell' Ist.*); *Giornale del R. Istituto Lombardo* (*Giorn. dell' Ist.*); *Atti del R. Istituto Lombardo* (*Atti dell' Ist.*); *Rendiconti del R. Istit.* (*Rend. dell' Istit.*); *Giornale dell' Ingegnere Architetto* (*Giorn. dell' Ing. Arch.*); *Politecnico, ossia Giornale dell' Ingeg. Arch.* (*Pol. Giorn.*).

	Prezzi a Milano in lire it.
1. Sulla somma utilità di estendere in Lombardia l'applicazione dei motori idraulici (*Bibl. It.* — 1839) . . . . L.	— —
2. Nuovo sistema di chiuse ad aprimento spontaneo (*Pol.* T. II. — 1839) . »	— —
3. Intorno al sistema idraulico del Po, ai principali cangiamenti che ha subìto ed alle più importanti opere eseguite, o proposte pel suo regolamento (1840. — *Pol.* T. III.) . . . . »	2, 20
4. Altre osservazioni sul Po (*Pol.* T. VI. — 1843) . . . . »	— —
5. Cenni idrografici sulla Lombardia. È compresa nelle *Notizie naturali e civili sulla Lombardia,* presso il tipografo Giuseppe Bernardoni. — Milano 1844 »	8, 70
6. Della natura dei laghi e delle opere intese a regolarne l'efflusso (*Mem. dell' Ist.* T. II. — 1846) (V. il N. 25) . . . . »	— —
7. Sull' omonimia de' fiumi dell' Italia settentrionale e di quelli della Francia (*Mem. e Giorn. dell' Ist.* T. III. 1852) . . . . »	— —
8. Dei cangiamenti cui soggiacque l'idraulica condizione del Po nel territorio di Ferrara — 1852 (*Mem. e Giorn. dell' Ist.* T. IV.) . . . . »	3, 00
9. Della sistemazione dei laghi di Mantova per liberare la città dalle inondazioni. 1854 (*Giorn. e Mem. dell' Ist.* T. V. — 1854) (V. il N. 25) . . »	— —
10. Importanza degli studj sulla statistica dei fiumi (*Mem. dell'Ist.* T. V. — 1854) »	— —
11. Sulla piena de' fiumi e laghi della Lombardia avvenuta nel giugno 1855 (*Giorn. dell' Ist.* T. VII.) (V. il N. 25) . . . . «	— —
12. Sulla piena de' fiumi della Lombardia nel Novembre 1855 (*Giorn. dell' Ist.* T. VIII.) . . . . »	— —
13. Sulle inondazioni avvenute nella Francia in questi ultimi tempi, e sui provvedimenti proposti per apportarvi rimedio. — 1858 (*Mem. dell' Ist.* T. VII. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1858) . . . . »	3, 00

14. Dei progetti intesi a provvedere alla deficienza di acque irrigue nel Cremonese (*Atti dell' Ist.* T. II. — 1858. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1858) L. 1,10
15. Sul Reggime delle acque del progettato canale marittimo di Suez e dei laghi amari interposti (*Mem. dell'Ist.* T. VIII. — *Giorn. dell'Ing. Arch.* — 1859.) » 0,75
16. Dell' origine e del progresso della scienza idraulica nel Milanese ed in altre parti d' Italia (*Mem. dell' Ist.* T. VIII. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1860) » 2,00
17. Studj sull' origine dei terreni quadernarj di trasporto, e specialmente di quelli della pianura lombarda (*Mem. dell' Ist.* T. VIII. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1861) . . . . » 1,25
18. Sui progetti intesi ad estendere l' irrigazione della pianura nella valle del Po (*Atti dell' Ist.* T. III. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1863) . . . . . » 2,50
19. Altre considerazioni sulle irrigazioni della Lombardia, e particolarmente su quella dell' alta pianura milanese col nuovo canale del Ticino; e studj idrologici sull' Adda e sulle sue derivazioni (*Atti dell' Ist.* T. III. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1863) . . . . » 1,00
20. Intorno al progetto di abbassare le piene del Lago Maggiore; colla relativa appendice (*Atti dell' Ist.* T. III. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1863) . » 1,25
21. Saggio idrologico sul Nilo con quattro appendici (*Mem. dell' Ist.* T. X. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1864-69) . . . . » 5,20
22. Della condizione idraulica della pianura subapennina fra l' Enza ed il Panaro e dei cangiamenti ivi avvenuti (*Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1865) . . . » 8,00
23. Essai sur l' hydrologie du Nil, traduit par l' auteur, avec deux appendices, 1865-66 . . . . » 5,60
24. Sulle opere intraprese pel prosciugamento del lago Fucino, e su quelle da eseguirsi pel radicale bonificamento del suo bacino, con due appendici (*Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1862-66) . . . . » 3,00
25. Della natura dei laghi e delle opere intese a regolarne l' efflusso, 2.ª edizione con aggiunte, compresevi le Memorie num. 9, ed 11 (*Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1866) . . . . » 7,00
26. Considerazioni sulla scala padimetrica di Pontelagoscuro (*Pol.* — 1867) » — —
27. Il voto della Commissione provinciale sui progetti dei canali irrigui per l' alto Milanese (*Rend. dell' Ist.* IV. V. — *Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1867) » 1,40
28. Studi idrologici e storici sopra il grande estuario adriatico, i fiumi che vi confluiscono e principalmente gli ultimi tronchi del Po, susseguiti da considerazioni intorno ai progetti per la regolazione delle acque alla destra di questi (*Giorn. dell' Ing. Arch.* — 1868) . . . . » 5,00
29. Appendice C. Risposta agli appunti fatti alla preced. Mem. . . . . . » 0,60
30. Sulla piena de' fiumi del 1868 e particolarmente su quella del Lago Maggiore (*Ren. dell' Ist.* Vol. V. — *Pol. Giorn.* — 1869) . . . . » 0,75
31. Alcune considerazioni sulla Mem. dell' ing. Goretti intitolata: Sulla sistemazione dei corsi d' acqua per la pianura a destra del basso Po ecc. (*Pol. Giorn.* — 1870) . . . . » 0,50
32. Sistema irriguo della Lombardia, disposiz. legislative e pratiche che lo risguardano, e loro effetti nel perfezionamento agricolo (*Pol. Giorn.* — 1870) » 1,00

Alcune delle più importanti di quelle Memorie, i cui esemplari sono esauriti, verranno successivamente riprodotte nel *Politecnico, ossia Giorn. dell' Ing. Arch.*

ERRATA-CORRIGE

Pag.	linea	ERRORI	CORREZIONI
6	9	a quelli di minor declivio stratificati.	a quelli di minor declivio stratificati. I fiumi in essa incassati si riproducono dopo essersi esauriti colle derivazioni.
25	31	Bracciofortebraccio	Braccio Fortebraccio
32	7	raggiunge $0^{m},85$	raggiungono $0^{m},85$
38	30	grande colatore	ampio canale
43	17	Distanze	Distanza
48	2	alle acque correnti nei canali e negli alvei de' fiumi	alle acque correnti nei tubi, nei canali e negli alvei de' fiumi
50	28	in tenue misura della superficie	in tenue misura dalla superficie
55	2	in tali svolte	in tali svolte, di cui si è parlato al § 30
68	25	in massima magra si calcola in 418 m. c.	si calcola in massima magra assoluta in 421 m. c., e nell' annuale in 710 m. c.
78	23	Lanterbourg	Lauterbourg
80	35	1842	1847
87	12	dalle 12 alle 5 lire	dalle 12 alle 5 lire per tonnellata
92	7	1859	1858
124	25	per toccare Modena, proseguire	per toccare Modena, e proseguire
Ivi	41	Ombrone di Pistoja.	Ombrone di Pistoja. Vedasi anche l' articolo del Guasti pag. 29 del Politecnico T. 7, 1844.
133	12	avrebbe forse potuto raggiungere	avrebbesi forse potuto raggiungere
136	23	per le torbide artificiali da esse tenute in sospensione	per le torbide artificiali che esse dovrebbero distribuire
155	34	presso che doppio di quello	presso che doppia di quella
170	23	A quest' epoca e non nel 1420	A quest' epoca, e non al 1420
172	29	onde calcolare in prevenzione	onde calcolare in prevenzione, e quindi condurre
173	13	in otto serbatoj	in diciotto serbatoj
Ivi	14	della media capacità di 22 milioni di m. c.	che insieme ad altri rivi somministrano oggidì annualmente per media 22 milioni di m. c.
176	9	del territorio della Francia	del suo territorio
Ivi	23	*Essais*	*Essai*
177	7	ove la Garonna e l' Aude discendono dai Pirenei	ove la Garonna, col suo confluente Lers, e l' Aude discendono dai Pirenei al piede della catena delle Cevenne che se ne dirama
189	33	delle acque della Senna alla sua destra	dalle acque della Senna, il primo a destra, e l' altro a sinistra.